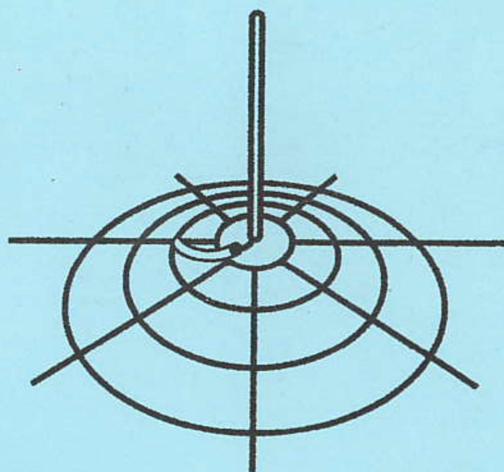
И.Н. ГРИГОРОВ
RK3ZK

АНТЕННЫ
ДЛЯ РАДИОЛЮБИТЕЛЕЙ



Майкоп
1998

Григоров И.Н.
(RK3ZK)

АНТЕННЫ ДЛЯ РАДИОЛЮБИТЕЛЕЙ

Антенны для радиолюбителей.
Майкоп, 1998 г., 256 с.

Автор : **Григоров И.Н.**
Компьютерная верстка : **Ризюк А.М., Нючев П.А.**
Компьютерная графика : **Ризюк А.М.**

Книга «Антенны для радиолюбителей» является сборником статей автора, опубликованных в журнале «Радиолюбитель» и в различных брошюрах.

Предназначена для широкого круга радиолюбителей.

Григоров Игорь Николаевич

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие



При построении радиолюбительских антенных систем обычно возникает множество вопросов - какой тип антенн выбрать, как построить ту или иную антенну практически, как устранить помехи, которые создает радиостанция. Помочь разобраться в этом - цель написания этой книги.

В работе представлены антенны различных типов - и широко известные радиолюбителям, и малоизвестные. Особое внимание уделено описанию их практического изготовления и эксплуатации, а где необходимо - изложена теория их работы.

В некоторых главах даны формулы, позволяющие понять теорию работы антенн, но все они не выходят за рамки средней школы.

При создании теории антенн часто пользовались полученными практическими результатами, на основании которых проверялись теоретические утверждения и формулы. Долгое время пользовались практическими результатами без подтверждения их соответствующей теорией. Поэтому радиолюбителю нет необходимости изучать теорию антенн в подробностях, достаточно знать

основные положения, необходимые для построения и настройки оптимальной для Вас антенной системы и для практической работы в эфире.

Хочу отметить, что некоторые мои взгляды, изложенные здесь, могут оказаться отличными от Ваших или тех, которые Вы встречали в других источниках. Вы сами можете на практике проверить правильность тех или иных сведений. Помните, что при построении антенн маленькая практика лучше большой теории.

Эта книга составлена на основе статей, которые были опубликованы в журнале “Радиолюбитель” в течение почти восьми лет. Благодаря письмам читателей они были дополнены сведениями, представляющими интерес для радиолюбителей.

Выражаю свою признательность А.Н.Куйсокову (UA6YW), А.М.Ризюку и П.А.Нючеву, благодаря которым осуществилось издание этой книги. Благодарю своих друзей, которые бескорыстно помогали мне, журнал “Радиолюбитель”, благодаря которому была вообще возможна эта работа.

Отвечу на все вопросы по этой книге (желательно наличие конверта с обратным адресом).

Мой адрес: а/я 68, г. Белгород-15, 308015, Россия.

Успехов Вам! 73!

Игорь Николаевич Григоров (RK3ZK)

РАЗДЕЛ 1. РАДИОЛЮБИТЕЛЬСКИЕ АНТЕННЫ.

Часть 1. Классические антенны.

Глава 1. Теория штыревых антенн.

1. **Определения и понятия.**

Несимметричными (штыревыми) называются антенны, расположенные непосредственно вблизи земли (или проводящего экрана) перпендикулярно (реже наклонно) к её поверхности (2).

Если считать землю идеально проводящей и учитывать зеркальное отображение, то несимметричный вибратор можно считать половиной эквивалентного ему симметричного вибратора (рис.1).

Исходя из этого предположения, и рассчитываются все основные характеристики несимметричного вибратора (штыря).



Рис.1

Сопротивление излучения несимметричного вибратора в два раза меньше, чем у эквивалентного симметричного вибратора, поскольку при одинаковых токах первый излучает в два раза меньшую мощность (нет излучения в нижнее полупространство) (2).

Входное сопротивление несимметричного вибратора в два раза меньше, чем у эквивалентного симметричного вибратора, поскольку при одинаковых токах питания у первого напряжение питания в два раза меньше (рис.2).

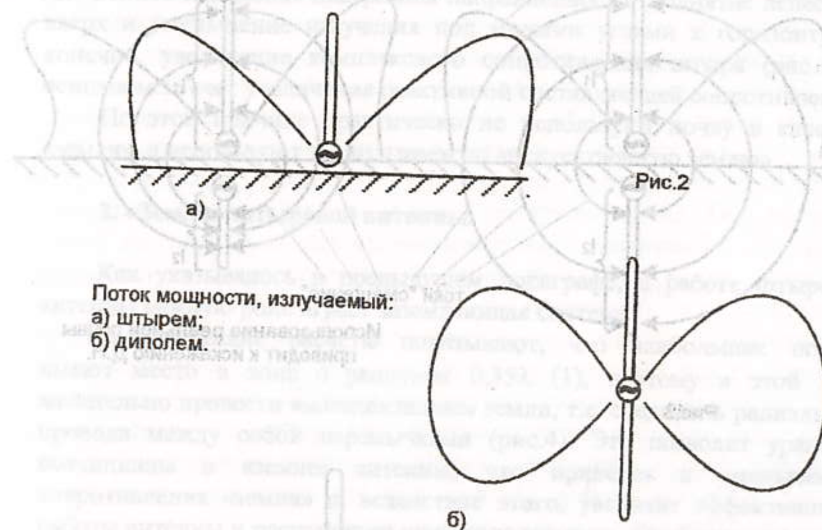


Рис.2

Коэффициент направленного действия (а, следовательно, и коэффициент усиления) несимметричного вибратора в два раза больше, чем у эквивалентного симметричного вибратора, так как при одинаковой мощности излучения первый обеспечивает в два раза большую плотность мощности, так как вся его мощность излучается в одно полупространство (рис.3).

Всё вышесказанное было справедливо для идеального несимметричного вибратора, то есть когда земля представляет собой идеальный проводник. Если же земля обладает плохими проводящими свойствами, или эти свойства не постоянны, то есть зависят от погоды, времени года и т.д., то характер распределения тока в земной поверхности меняется, в результате чего меняется и поле излучения вибратора. Низкая проводимость почвы приводит к уменьшению амплитуды тока в вибраторе а, следовательно, к повышению его сопротивления и уменьшению излучаемой мощности. Кроме того, почва, обладающая плохой прово-

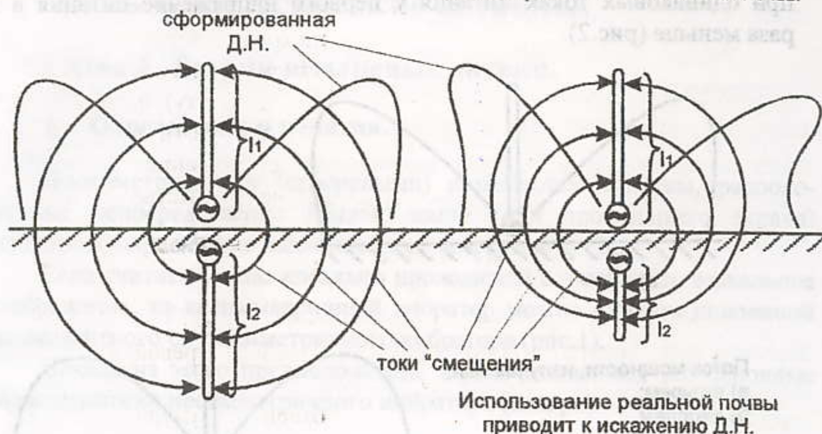


Рис.3

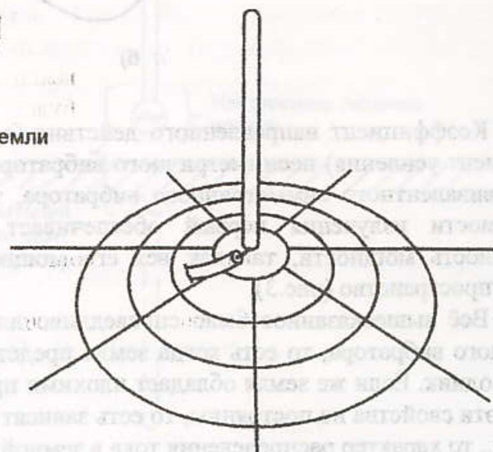


Рис.4

димостью, является обычно диэлектриком с большой диэлектрической проницаемостью (ее максимальное значение может достигать 80), что приводит к изменению электрической длины мнимого диполя, а также к искажению длины пути токов смещения (3), в результате чего происходит полное искажение диаграммы направленности (поднятие лепестков вверх и уменьшение излучения под малыми углами к горизонту) и, конечно, увеличение комплексного сопротивления штыря (рис.4), в основном за счет увеличения реактивной составляющей сопротивления.

По этой причине практически не используют почву в качестве «земли», а используют так называемую «искусственную землю».

2. «Земля» штыревой антенны.

Как указывалось в предыдущем параграфе, в работе штыревой антенны важную роль играет заземляющая система.

Теоретические расчеты показывают, что наибольшие потери имеют место в зоне с радиусом 0,35λ (1), поэтому в этой зоне желательно провести «металлизацию» земли, т.е. соединить радиальные провода между собой перемычками (рис.4). Это позволит уравнять потенциалы в «земле» антенны, что приведет к уменьшению сопротивления «земли» и, вследствие этого, увеличит эффективность работы антенны и расширит ее широкополосность. Особенно это важно для укороченных антенн. Очень хорошо, если эта металлизация будет проведена на всём расстоянии противовесов.

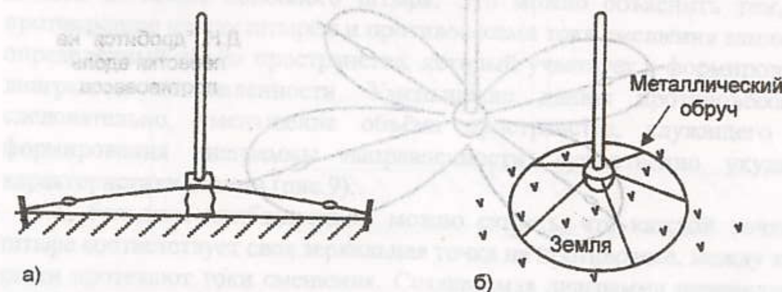


Рис.5

Противовесы следует располагать на некотором удалении от земли (рис.5), так как, если противовесы будут лежать на земле, то,

покрывшись влагой, имеющей диэлектрическую проницаемость 80, их электрическая длина не будет резонансной для антенны. Должны быть изолированы от земли и их концы. В одном случае можно не изолировать концы противовесов от земли – если они надёжно соединены кольцом-перемычкой (рис.5). В этом случае «земляная» система антенны работает не на резонансном, а на зеркальном эффекте взаимодействия токов смещения с противовесами.

Никогда не следует забывать о том, что идеальная штыревая антенна имеет КПД 47 %, а КПД антенны с тремя противовесами - менее 5 %, т.е., работая со штыревой антенной с тремя прстивовесами, из 200 Ватт, подводимых к штырю, 100 (!!!) напрасно теряется, попутно создавая TVI. Очень интересен вопрос, куда уходит эта «теряемая» мощность… Изложение этих процессов сложно не только для радиолюбителя, но и для специалиста. Многие процессы в ионосфере нелинейны, т.е. отражение радиоволн начинается, например, при подводимой мощности к вашей антенне в 7 Ватт, и уже полностью не происходит при 5 Ваттах, т.е., Вы теряете уникальные возможности DX QSO, сэкономив на проводе для противовесов. По теореме взаимности (4) антенна работает как передающая или приёмная – параметры и характеристики её одинаковы, значит, на приём происходят большие потери полезного сигнала (на практике это приводит к увеличению шумовой составляющей принимаемого сигнала).

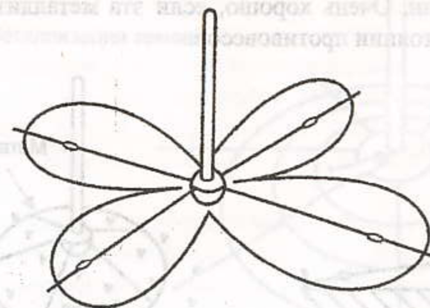


Рис.6

Следует учесть искажения диаграммы направленности при малом количестве противовесов: из полусферической она становится лепестковой, имеющей направление максимумов излучения вдоль

противовесов (рис.6). Задача нахождения оптимального количества противовесов была решена мной при помощи ЭВМ (возможно, при других начальных условиях, решение будет несколько иным). Здесь я пытался задать усредненные характеристики моделируемым антеннам. Решение представлено на рис.7. Из него видно, что минимально необходимое число противовесов равно 12. При большем их количестве КПД растёт медленно. Противовесы должны быть расположены на одинаковом расстоянии относительно друг друга.

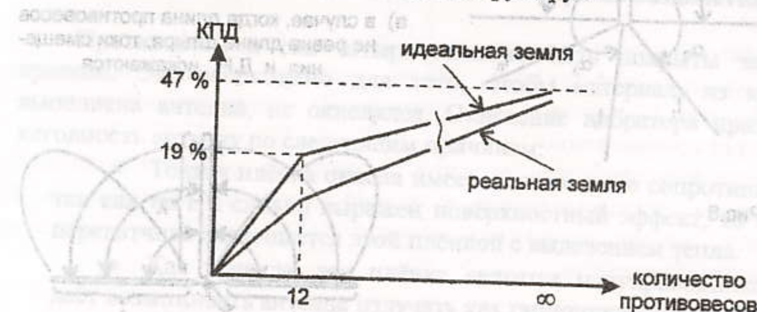


Рис.7 Зависимость КПД штыревой антенны от количества противовесов

Угол расположения противовесов относительно штыря должен быть от 90° до 135° (рис.8). При больших и меньших углах КПД падает, и диаграмма направленности искажается. Противовесы должны быть длиной не менее основного штыря. Это можно объяснить тем, что протекающие между штырём и противовесами токи смещения занимают определённый объём пространства, который участвует в формировании диаграммы направленности. Уменьшение длины противовесов а, следовательно, уменьшение объёма пространства, служащего для формирования диаграммы направленности, существенно ухудшает характеристики антенн (рис.9).

С большим приближением можно сказать, что каждой точке на штыре соответствует своя зеркальная точка на противовесе, между которыми протекают токи смещения. Создаваемая диаграмма направленности и будет суперпозицией (наложением) этих токов. При использовании противовесов короче основного штыря, не будет надлежащего распределения поля в пространстве. Однако нет необходимости использовать противовесы длиннее, чем основной штырь.

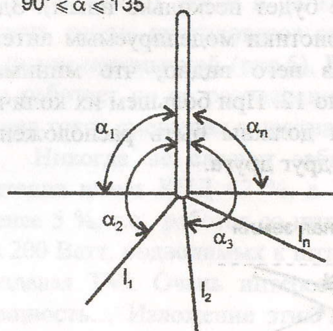
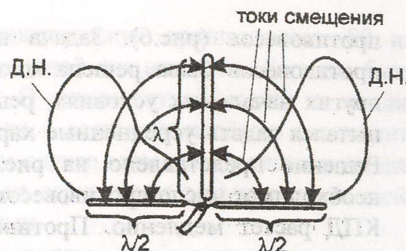
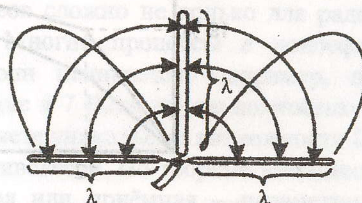


Рис.8

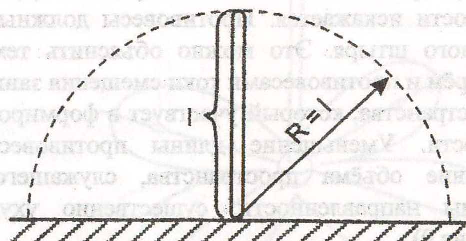


а) в случае, когда длина противовесов не равна длине штыря, токи смещения и Д.Н. искажаются



б) длина противовесов равна длине штыря

Рис.9



Основной объем пространства, формируемый Д.Н. штыря

Рис.10

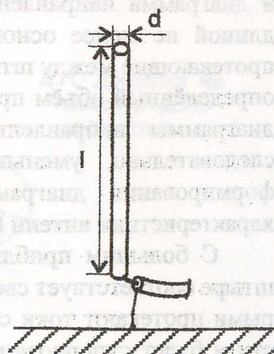


Рис.11

Токи смещения, как и все обычные токи, протекают по пути наименьшего сопротивления, которое в данном случае сосредоточено в объёме, ограниченном радиусом штыря (рис.10). За пределами этого объёма токи смещения будут малы и не будут играть заметной роли в создании диаграммы направленности, хотя и приведут к некоторому увеличению излучения под малыми углами к горизонту.

3. Защита антенны от внешних атмосферных воздействий.

Противовесы и сам штырь должны быть покрыты защитной краской. Это необходимо для того, чтобы материал, из которого выполнена антенна, не окислялся. Окисление вибратора приводит в негодность антенну по следующим причинам:

- Тонкая плёнка окисла имеет значительное сопротивление, а так как на ВЧ сильно выражен поверхностный эффект, то энергия передатчика поглощается этой плёнкой с выделением тепла.
- Как правило, эта плёнка является полупроводником, что даёт возможность антенне излучать как гармоники основной частоты сигнала (nF, где n – целое), так и ряд комбинационных частот, типа (nF_1+nF_2), где n – целое, F_1 – частота передатчика, F_2 – любой другой мощный ВЧ сигнал, как то: сигнал местного телецентра, соседнего ведомственного передатчика и т.д.

Крайне желательно использовать для этого радиокраску (ту, которой красят локаторы на аэродромах, кораблях и т.д.). Частички красителя, содержащиеся в обычной краске, поглощают ВЧ энергию, хотя, в крайнем случае, можно использовать и ее.

4. Размеры вибраторов штыревой антенны.

Как известно, сопротивление излучения антенны $R_{изл}$ пропорционально отношению l/d, где l-длина и d-диаметр антенны (рис.11). В то же время, добротность антенны $Q = R_{изл} / R_а$, где $R_а$ – сопротивление антенны. Отсюда следует, чем меньше отношение l/d, тем широкополоснее антенна. КПД ее также растет за счет уменьшения активной составляющей вибратора и улучшения взаимодействия токов смещения с противовесами.

Следует учесть, что при использовании толстых вибраторов сказывается «торцевой эффект». Он обусловлен емкостью между

торцами вибратора и землей (рис.12). Физически он выражается в том, что антенна получается «длиннее» расчетной, в результате чего вводят коэффициент укорочения К, и длина штыря будет (λ/4)×К. Пример значений коэффициента укорочения дан в табл.1. (5). Для его уменьшения широкополосные штыри делают конусообразной формы в нижней части и, если это необходимо, в верхней (рис.13). Однако коэффициент укорочения для штыря точно определить невозможно, и поэтому приходится мириться с возникающей реактивностью, или компенсировать ее.

Расчеты показывают, что минимально необходимая толщина противовесов для эффективной работы антенны должна составлять d=D/2,4n, где d – диаметр противовесов, D – диаметр штыря и n – количество противовесов.

Часто радиолюбители не могут по каким-то причинам применить λ/4-штырь и используют штырь, имеющий гораздо меньшие размеры. В принципе, можно согласовать штырь любой длины с помощью согласующих устройств.

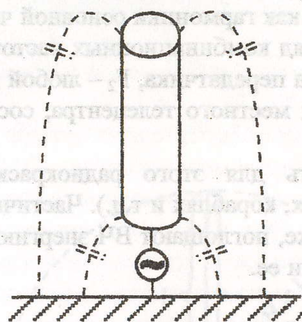


Рис.12

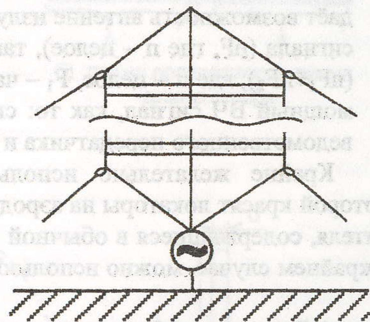


Рис.13

К	0,86	0,88	0,89	0,9	0,92	0,94
Полуволновой диполь, λ/d	12	20	24	27	50	280
Волновой диполь, λ/d	60	80	100	140	300	1300

Табл.1 Зависимость коэффициента укорочения К от отношения λ/d



Рис.14 Зависимость активной составляющей Rизл вертикального вибратора от его длины, выраженной в градусах.

На графиках (рис.14) из (5) показаны значения сопротивления излучения короткого штыря. Известно, что штырь, имеющий малое активное и большое реактивное сопротивление, будет согласован весьма не оптимально (на самих согласующих устройствах может рассеиваться до 90% энергии). Если же еще при этом используются и суррогатные короткие противовесы, то эффективность такой антенной системы будет весьма низка. Однако в средствах подвижной связи часто такие суррогатные системы применяются, но это только потому, что и другие виды укороченных антенн будут работать не лучше.

5. Диаграммы направленности штыревых антенн, расположенных на земле и над землей.

Многих интересует, как влияет высота подъема штыря на его диаграмму направленности и зависит ли его сопротивление от высоты подвеса.

В преддверии всего этого я познакомлю вас с важнейшим результатом (6). Он заключается в том, что распределение токов в штыре не зависит от высоты подвеса при наличии идеальной земли-системы противовесов.

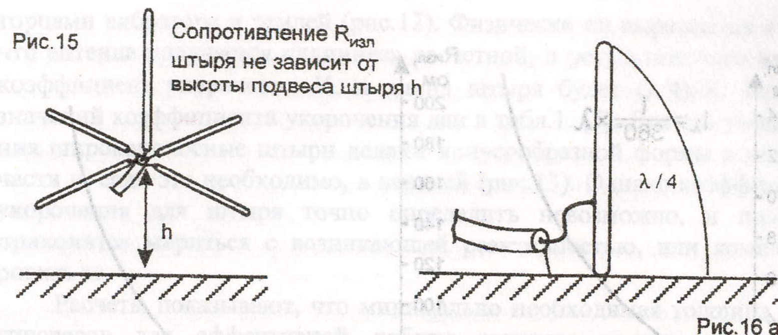


Рис.15

Рис.16 а

Это очень важный результат. Практически это означает, что на какой бы высоте штырь вместе со своей системой «земли» ни находился, его сопротивление будет постоянным (рис.15). Но это частный случай более общего решения. Общий результат решения показывает, что если штырь настроен в резонанс, то его нижний конец можно заземлить. При этом его можно питать в любой точке (рис.16).

На результатах этого важного вывода и созданы штыревые антенны (флаг-антенны, мачты-антенны), нижний конец которых соединен с «землей» и которые питаются через гамма-согласование или каким-либо другим способом, более удобным в данном случае.

Диаграммы направленности λ/4-штыря приведены на рис.17. Из этого рисунка видно, что чем больше поднимается антенна, тем более пологий угол излучения к горизонту. Это объясняется тем, что происходит сложение излученной штырем волны и волны, отраженной от земли. Естественно, что если почва обладает плохими проводящими свойствами, то диаграмма направленности будет близка к диаграмме направленности штыря над землей. Поднимать антенну на высоту более

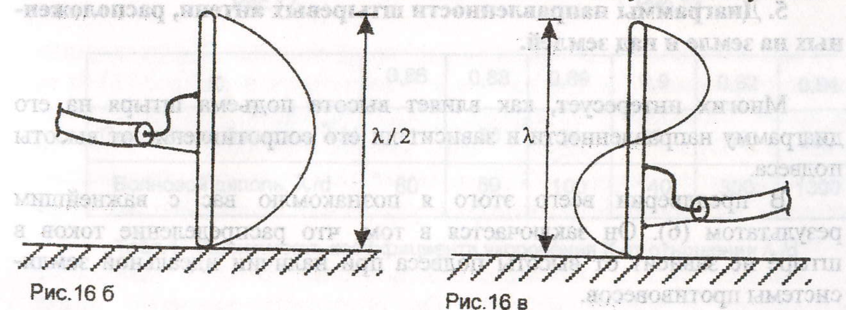


Рис.16 б

Рис.16 в

длины волны не имеет смысла, так как при этом уже не происходит уменьшения угла излучения, а только начинают дробиться верхние боковые лепестки. При поднятии на высоту штырей длиной более λ/4 результат будет такой же. На рис.17 приведены диаграммы направленности штырей разной длины, размещенных над идеально проводящей землей (5). Следует запомнить еще одну интересную особенность штырей, высота которых равна λ и более. Такие антенны в профессиональной связи используются как антифединговые (4). Для радиолюбителей это означает, что такая антенна будет принимать без проблем сигнал, приходящий с замираниями на λ/4-штырь или четвертьволновой диполь.

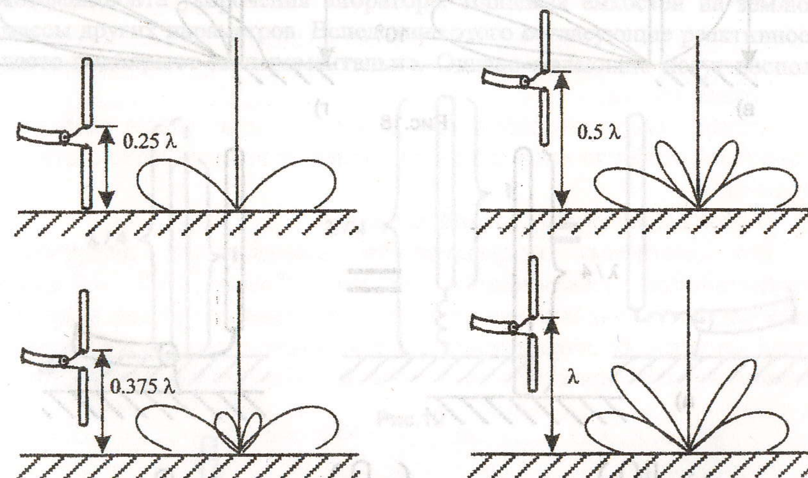


Рис.17 Диаграммы направленности полуволнового симметричного вибратора, расположенного на разных расстояниях над землей (Л.1)

6. Согласование штыревых антенн.

Для успешной работы штыревая антенна должна быть согласована с линией питания и настроена в резонанс с излучаемым ей сигналом. Несмотря на все кажущееся многообразие согласующих устройств и штырей их можно разбить на три группы.

- штырь согласованный, электрическая длина которого равна λ/4 (рис.19а);

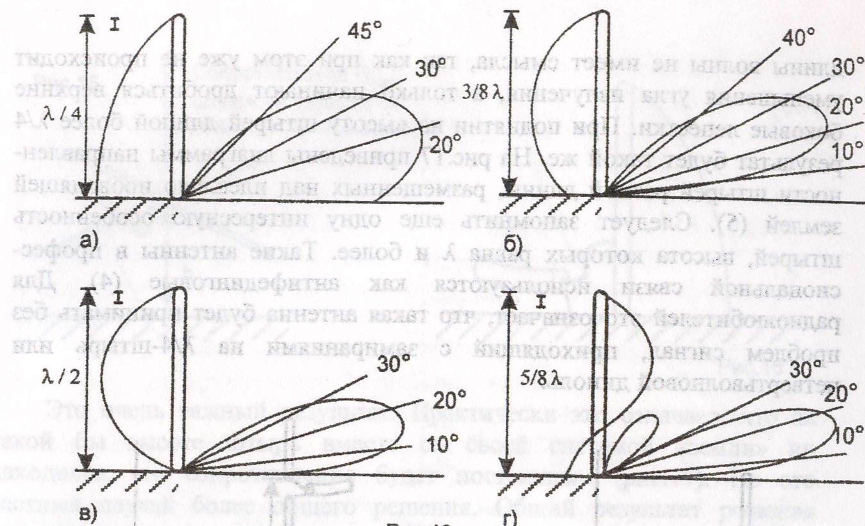


Рис.18

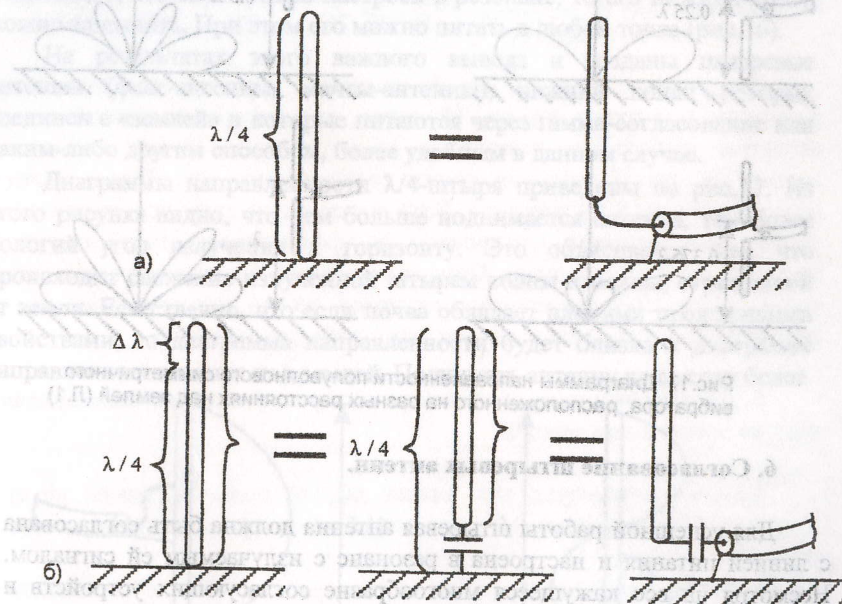


Рис.19

- штырь с электрической длиной больше λ/4 (рис.19б) (эту «лишнюю» длину убирают с помощью емкости);
- штырь с электрической длиной меньше λ/4 (рис.19в) («недостающую» длину добавляют катушкой индуктивности).

Для практики необходимо помнить, что конденсатор и катушка должны иметь максимально возможную добротность, а также, желательно, чтобы ТКЕ и ТКИ были как можно лучше. Обычно емкость укорачивающего конденсатора может быть в пределах 100 пФ на 28-18 и более на НЧ-диапазонах. Параметры удлиняющей катушки – единицы мкГн – до 21 МГц, десятки – до 3,5 МГц. Точно определить теоретическое их значение трудно, так как в этом случае происходит влияние коэффициента укорочения вибратора, торцевых емкостей на землю и массы других параметров. Вследствие этого согласующие реактивности часто подбирают экспериментально. Однако желающие могут воспользоваться

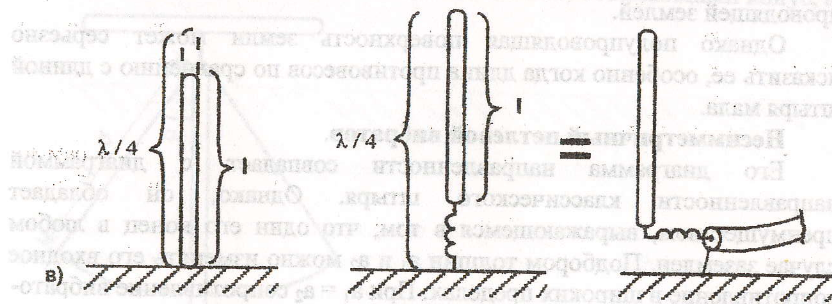


Рис.19

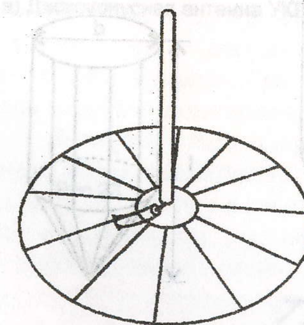


Рис.20

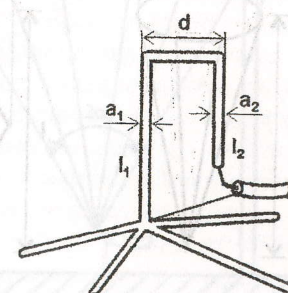


Рис.21

зоваться работами (3,7,8) для определения точного теоретического значения удлиняющих и укорачивающих реактивностей.

В заключение следует отметить, что подобная практика согласования применима и к штырям длиной, кратной λ/4.

7. Типы штыревых антенн.

Несимметричный вибратор над экраном конечных размеров или классический штырь (рис.20).

Эту антенну и применяют в основном радиолюбители. В качестве экрана обычно используют противовесы длиной не менее λ/4. Расчет диаграммы направленности такой антенны в реальных условиях очень сложен, поэтому считается, что ее диаграмма направленности совпадает с диаграммой направленности идеального штыря над бесконечно проводящей землей.

Однако полупроводящая поверхность земли может серьезно исказить ее, особенно когда длина противовесов по сравнению с длиной штыря мала.

Несимметричный петлевой вибратор.

Его диаграмма направленности совпадает с диаграммой направленности классического штыря. Однако, он обладает преимуществом, выражающемся в том, что один его конец в любом случае заземлен. Подбором толщин a_1 и a_2 можно изменять его входное сопротивление в широких пределах. При $a_1 = a_2$ сопротивление вибратора будет равно 146 Ом. Для тех, кто хочет самостоятельно рассчитать сопротивление несимметричного вибратора, имеющего разные толщины, я привожу формулу (2):

$R_a = (1+n^2) \times 36{,}6;$

где $n = \ln(d / a_1) / \ln(d / a_2)$.

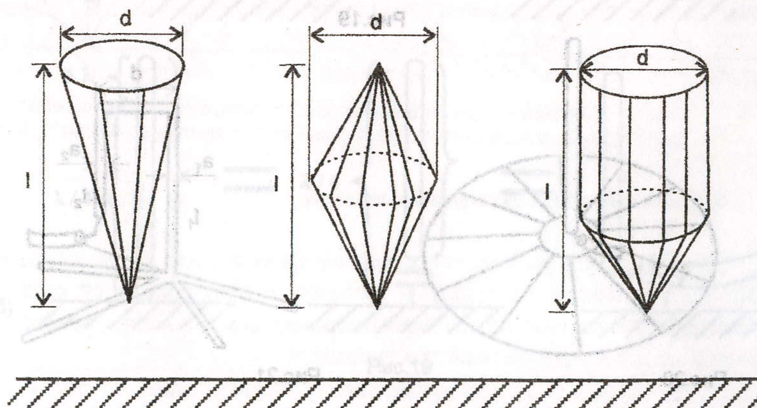
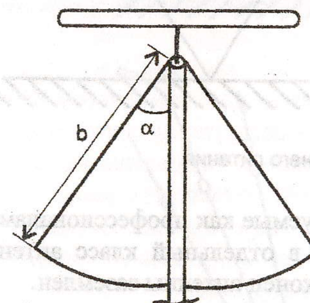


Рис.22 Виды широкополосных вибраторов

Широкодиапазонные несимметричные вибраторы, как и симметричные, изготовляются из толстых труб, штырей, пластин. Они могут быть коническими, ромбическими, цилиндрическими, сплошными и решетчатыми. Перекрытие диапазона рабочих частот зависит от отношения d/l. Чем оно больше, тем широкополоснее вибратор. Хорошо известна антенна UW4HW, являющаяся широкополосным несимметричным вибратором.

Конические антенны – частный случай широкополосных вибраторов (рис.23). Поле излучения создается токами, обтекающими конус, а



а) Дисконусная антенна УКВ

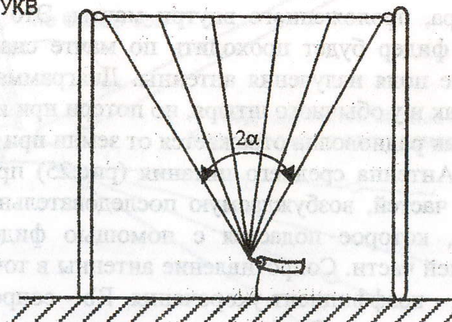


Рис.23

б) Конусная антенна КВ - частный случай дисконусной

диск играет роль экрана и почти не излучает. При угле $\alpha = 60°$ достигается наибольший коэффициент перекрытия диапазонов, равный примерно 5, при КБВ = 0,5 в фидере с волновым сопротивлением 50 Ом. При этом максимальная длина волны равна 3,6b. Диаграмма направленности дискоконусной антенны КВ и УКВ примерно такая же, как и у обыкновенного штыря.

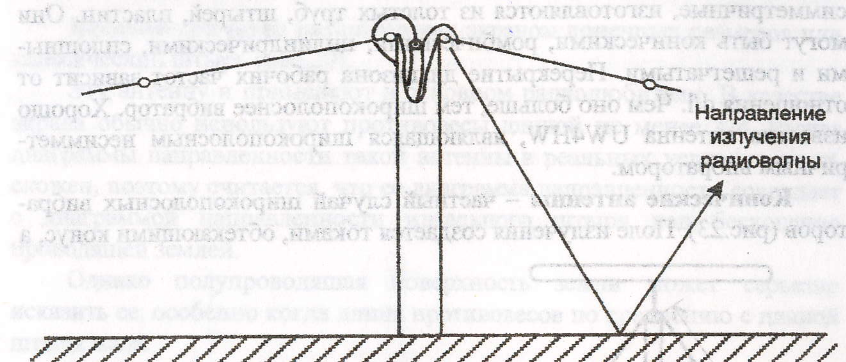


Рис.24 Антенна - мачта верхнего питания

Антенны-мачты (2), широко используемые как профессионалами, так и радиолюбителями можно выделить в отдельный класс антенн. Особенностью их является то, что нижний конец антенны заземлен.

Антенна верхнего питания (рис.24) возбуждается с помощью фидера, проложенного внутри мачты. Это принципиально, поскольку если фидер будет проходить по мачте снаружи, то возможно уменьшение поля излучения антенны. Диаграмма направленности его такая же, как и у обычного штыря, но потери при излучении и приеме больше, так как радиоволна отражается от земли при передаче и приеме.

Антенна среднего питания (рис.25) представляет собой мачту из двух частей, возбуждаемую последовательно в точках 1 и 2 напряжением, которое подается с помощью фидера, проложенного внутри нижней части. Сопротивление антенны в точках питания $Ra=Rb/\cos^2 kl_1$, где k - коэффициент укорочения, Rb - сопротивление «чистого» вибратора в точке 3. Подбирая соотношение между l_1 и l_2 можно согласовать антенну с фидером питания. Принципиальное значение имеет то, что фидер должен проходить внутри нижней части антенны. Недостаток -

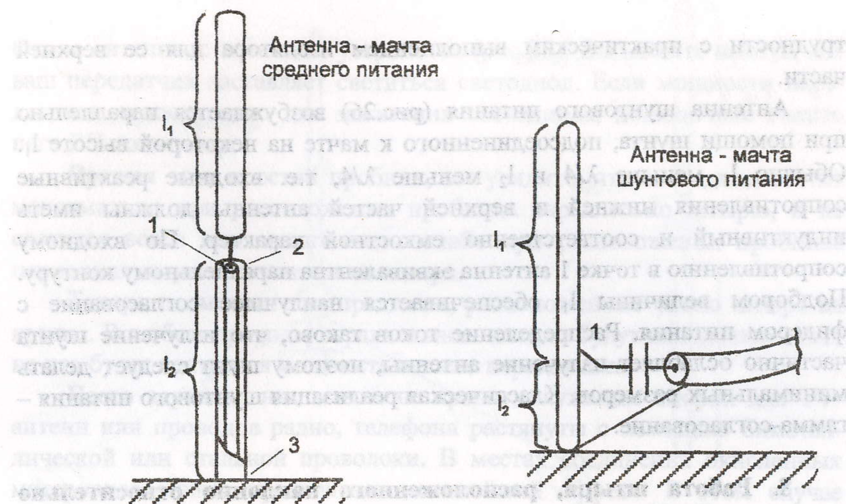


Рис.25

Рис.26

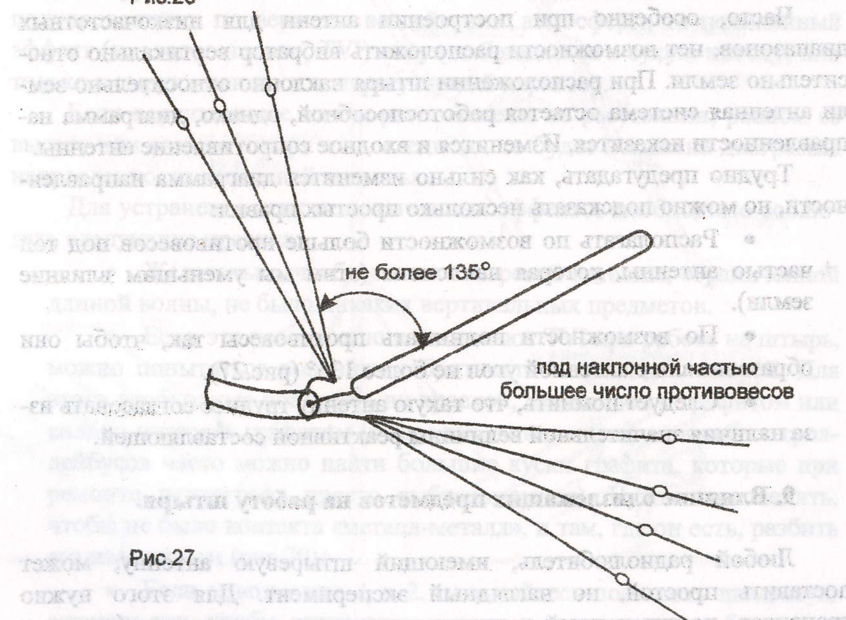


Рис.27

трудности с практическим выполнением изолятора для ее верхней части.

Антенна шунтового питания (рис.26) возбуждается параллельно при помощи шунта, подсоединенного к мачте на некоторой высоте l_1. Обычно l_1 меньше $\lambda/4$ и l_2 меньше $\lambda/4$, т.е. входные реактивные сопротивления нижней и верхней частей антенны должны иметь индуктивный и соответственно емкостной характер. По входному сопротивлению в точке 1 антенна эквивалентна параллельному контуру. Подбором величины l_1 обеспечивается наилучшее согласование с фидером питания. Распределение токов таково, что излучение шунта частично ослабляет излучение антенны, поэтому шунт следует делать минимальных размеров. Классическая реализация шунтового питания – гамма-согласование.

8. Работа штыря, расположенного наклонно относительно земли.

Часто, особенно при построении антенн для низкочастотных диапазонов, нет возможности расположить вибратор вертикально относительно земли. При расположении штыря наклонно относительно земли антенная система остается работоспособной, однако, диаграмма направленности исказится. Изменится и входное сопротивление антенны.

Трудно предугадать, как сильно изменится диаграмма направленности, но можно подсказать несколько простых правил:

- Располагать по возможности больше противовесов под той частью антенны, которая наклонена (этим мы уменьшим влияние земли).
- По возможности поднимать противовесы так, чтобы они образовывали с антенной угол не более 135° (рис.27).
- Следует помнить, что такую антенну труднее согласовать из-за наличия значительной величины реактивной составляющей.

9. Влияние близлежащих предметов на работу штыря.

Любой радиолюбитель, имеющий штыревую антенну, может поставить простой, но наглядный эксперимент. Для этого нужно трансивер, подключенный к штырю, включить на передачу (лучше в телеграфном режиме, ключ на «точки», чтобы не перегревать PA).

Около антенны с помощью устройства (рис.28). Вы можете видеть, как ваш передатчик заставляет светиться светодиод. Если мощности передатчика недостаточно для зажигания светодиода, подключите вместо него ВЧ-вольтметр.

Вращая этот простой пробник, вы увидите, что светодиод светит максимально при расположении пробника параллельно штырю, и не светится вовсе или светит очень слабо при расположении пробника перпендикулярно относительно штыря.

Теперь посмотрите на предметы, расположенные около штыря на крыше. В любом проводе, параллельном штырю будут наводиться токи, на что будет тратиться мощность вашего передатчика.

Часто вертикальные мачты на крыше, служащие опорой для TV-антенн или проводов радио, телефона растянуты с помощью биметаллической или стальной проволоки. В местах соединения окисленных материалов может проявляться нелинейный эффект. В этом случае частота вашего передатчика может быть умножена, сложена с каким-нибудь другим мощным сигналом и т.д. Так как эти «контактные» полупроводники подвержены воздействию атмосферы, то нелинейный эффект (и, следовательно, TVI) могут наблюдаться в сухую погоду, или только в сырую, или носить нерегулярный характер.

Если вертикальные мачты расположены на расстоянии, равном ее высоте или высоте штыря от последнего, то будет искажена диаграмма направленности штыревой антенны.

Для устранения этих нежелательных эффектов необходимо соблюдать следующие правила:

- Желательно, чтобы в зоне штыревой антенны, ограниченной длиной волны, не было никаких вертикальных предметов.
- Если это невозможно и возникают TVI при работе на штырь, можно попытаться понизить добротность мешающих штырей. Для этого необходимо покрасить их краской, смешанной с графитом или сильно натереть графитом (в городах на конечных остановках троллейбусов часто можно найти большие куски графита, которые при ремонте пантографа просто выбрасываются). Нужно проследить, чтобы не было контакта «металл-металл», и там, где он есть, разбить его изолятором (рис.29).
- Если невозможно 1 и 2, попытайтесь поставить штыревую антенну так, чтобы вертикальные мешающие предметы были под экраном из противовесов (рис.30).

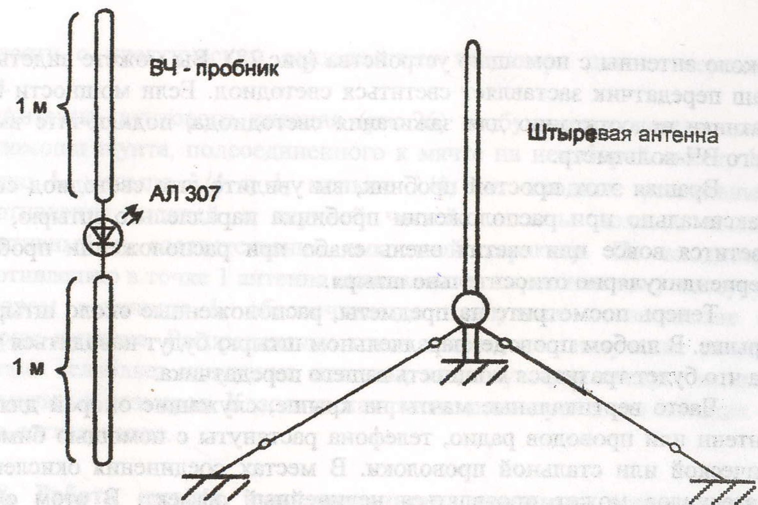


Рис.28

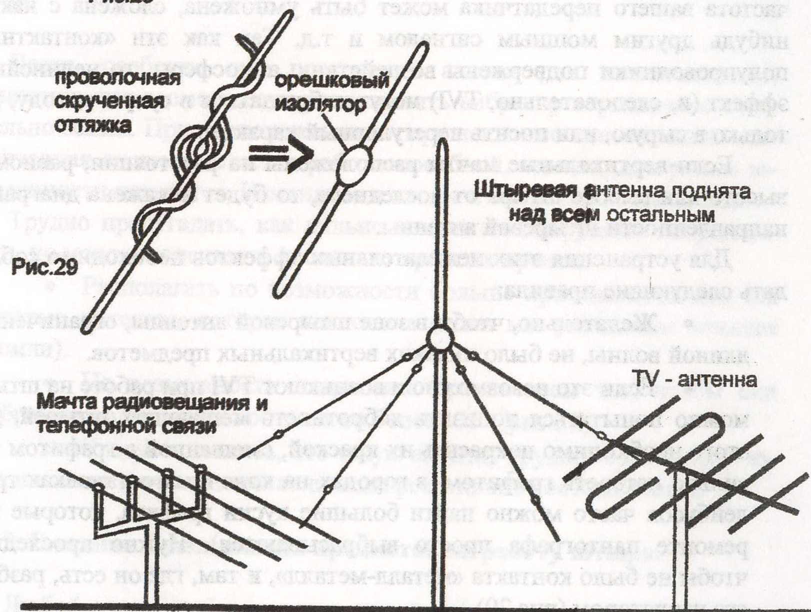


Рис.29

Рис.30

10. Воздействие атмосферного электричества на штыревую антенну.

Радиолюбители, у которых штырь изолирован от земли, но подключен напрямую или через катушку индуктивности к коаксиалу (рис.31), могут провести очень наглядный опыт. Для этого летом перед грозой или зимой в сухую снежную погоду нужно подключить «неонку» к коаксиалу, идущему от вашего штыря. Вы увидите, что лампочка начнет периодически вспыхивать. Теперь подключите параллельно лампочке конденсатор емкостью от 200 до 500 пФ (именно такая суммарная емкость П-контура в диапазоне от 10 до 160 м). Вспышки станут заметно мощнее, а при емкости от 1000 пФ «неонка» может даже выйти из строя. Теперь предположим, что к реальному Вашему

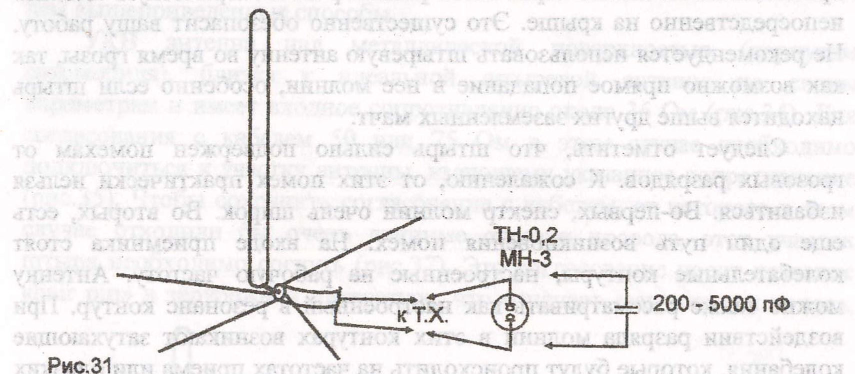


Рис.31

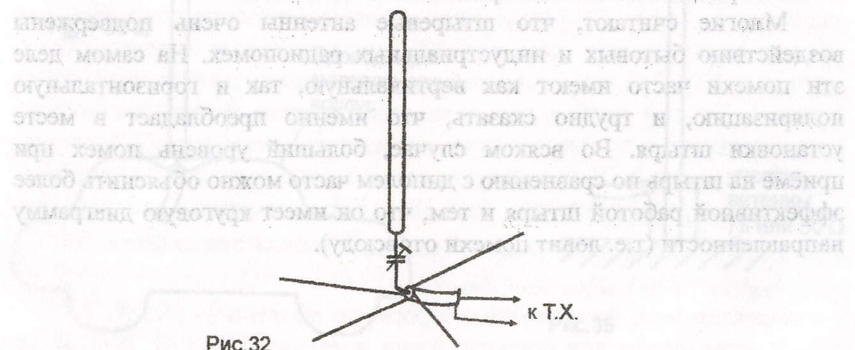


Рис.32

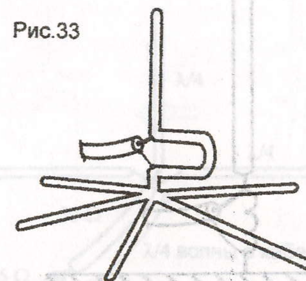
передатчику подсоединена такая антенна. Если он транзисторный, то заряд, накопившийся на конденсаторах, может пробить выходной транзистор. Если у вас стоит в радиоаппаратуре радиолампа с малым зазором анод-катод (типа ГИ-7Б), то такой заряд может прожечь и ее. Даже если этого не случится, большой накопительный заряд может испортить конденсаторы П-контура, особенно если они рассчитаны на невысокое напряжение.

Если антенна включена по схеме (рис.32), то атмосферное электричество может прожечь подстроечный конденсатор. Чтобы этого не происходило, необходимо снимать статическое электричество, для чего целесообразно соединить штырь с противовесами резистором сопротивлением от 10 до 100 кОм мощностью не менее 2 Вт. Желательно противовесы заземлить через такой резистор на электрическую «землю» непосредственно на крыше. Это существенно обезопасит вашу работу. Не рекомендуется использовать штыревую антенну во время грозы, так как возможно прямое попадание в нее молнии, особенно если штырь находится выше других заземленных мачт.

Следует отметить, что штырь сильно подвержен помехам от грозовых разрядов. К сожалению, от этих помех практически нельзя избавиться. Во-первых, спектр молнии очень широк. Во вторых, есть еще один путь возникновения помех. На входе приемника стоят колебательные контуры, настроенные на рабочую частоту. Антенну можно также рассматривать как настроенный в резонанс контур. При воздействии разряда молнии в этих контурах возникают затухающие колебания, которые будут происходить на частотах приема или близких к ним и приниматься вашим приемником как помеха.

Многие считают, что штыревые антенны очень подвержены воздействию бытовых и индустриальных радиопомех. На самом деле эти помехи часто имеют как вертикальную, так и горизонтальную поляризацию, и трудно сказать, что именно преобладает в месте установки штыря. Во всяком случае, больший уровень помех при приёме на штырь по сравнению с диполем часто можно объяснить более эффективной работой штыря и тем, что он имеет круговую диаграмму направленности (т,е. ловит помехи отовсюду).

11. Согласование штыревых антенн УКВ передвижных станций.


Рис.33

В параграфе 6 были описаны способы согласования и питания КВ-штыревых антенн. Эти методы пригодны и для УКВ-штыревых антенн, но наиболее часто в УКВ-штыревых антеннах передвижных станций используется согласование с помощью индуктивной петли (рис.33). Такое согласование используется потому, что оно более технологично для УКВ, чем вышеприведенные способы.

УКВ антенна над металлической поверхностью (корпусом автомобиля), близка к идеальной штыревой антенне по своим параметрам и имеет входное сопротивление около 36 Ом (рис.34). Для согласования с кабелем 50 или 75 Ом в этом случае необходимо подключиться к участку антенны, имеющему указанное сопротивление (рис.35). Чтобы сохранить согласование с кабелем, от которого в этом случае отходили бы очень длинные отрезки провода, этот участок штыря необходимо согнуть (рис.37). Это согласование носит название «hair pin» в зарубежной литературе, что означает «заколка для волос»,

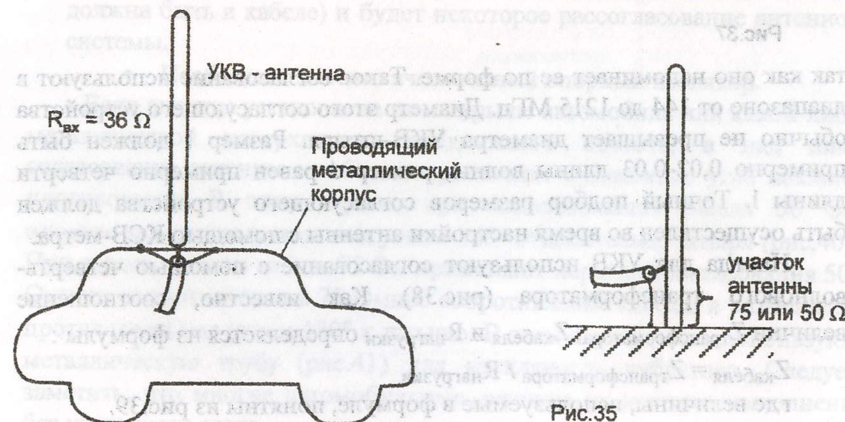


Рис.34

Рис.35

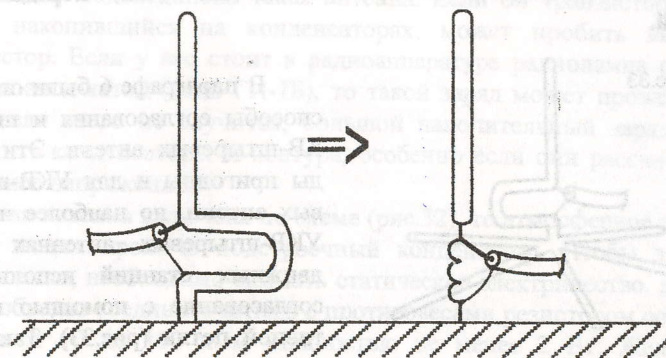


Рис.36

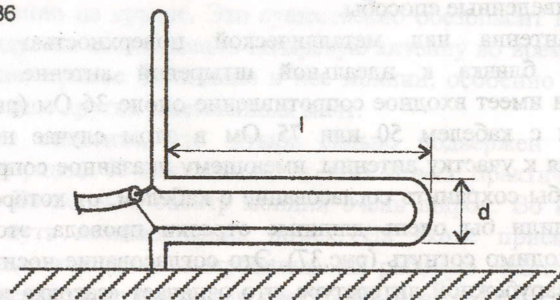


Рис.37

так как оно напоминает ее по форме. Такое согласование используют в диапазоне от 144 до 1215 МГц. Диаметр этого согласующего устройства обычно не превышает диаметра УКВ-штыря. Размер l должен быть примерно 0,02-0,03 длины волны, размер d равен примерно четверти длины l. Точный подбор размеров согласующего устройства должен быть осуществлен во время настройки антенны с помощью КСВ-метра.

Иногда для УКВ используют согласование с помощью четвертьволнового трансформатора (рис.38). Как известно, соотношение величин $Z_{трансформатора}$, $Z_{кабеля}$ и $R_{нагрузки}$ определяется из формулы :

$$Z_{кабеля} = Z_{трансформатора} / R_{нагрузки},$$

где величины, используемые в формуле, понятны из рис.39.

В этом случае при сопротивлении идеального штыря, равном 36 Ом, величина волнового сопротивления четвертьволнового трансфор-

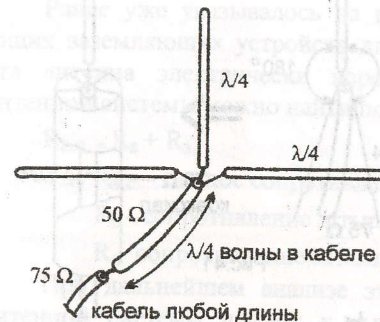


Рис.38

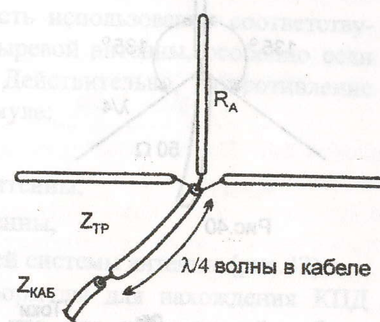


Рис.39

матора должна быть 50 Ом, а волновое сопротивление кабеля 75 Ом (расчетная величина 69 Ом).

При таком способе согласования есть несколько неудобств.

- Необходимо два типа кабеля с разными волновыми сопротивлениями.
- Не всегда точно известна диэлектрическая постоянная изоляции кабеля, и вследствие этого, не всегда удается сделать точно четвертьволновой трансформатор (не забывайте, что четверть волны должна быть в кабеле) и будет некоторое рассогласование антенной системы.
- Необходим высококачественный опорный изолятор.

Если антенна установлена не на крыше автомобиля или какой-либо металлической поверхности передвижного объекта, а над ним, согласование антенны с кабелем производят с помощью угла наклона противовесов. В этом случае, при использовании кабеля 50 Ом противовесы располагают под углом 135° относительно штыря (рис.40). При использовании кабеля 75 Ом применяют меры для согласования 50-Омного сопротивления в 75-Омное сопротивление кабеля, и размещают противовесы под углом 180° к штырю. В этом случае часто используют металлическую трубу (рис.41) для «земляного» вибратора. Следует заметить, что многие автомобильные антенны на магните выполнены без учета всего этого.

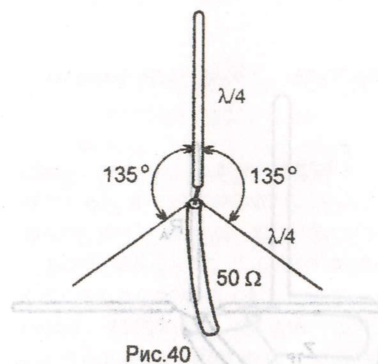


Рис.40

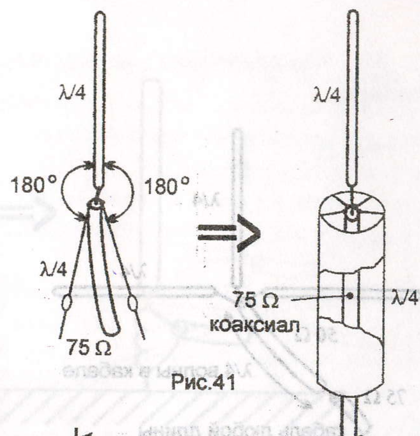


Рис.41

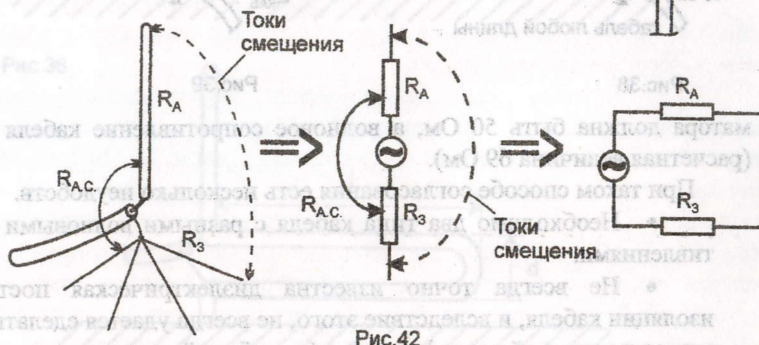


Рис.42

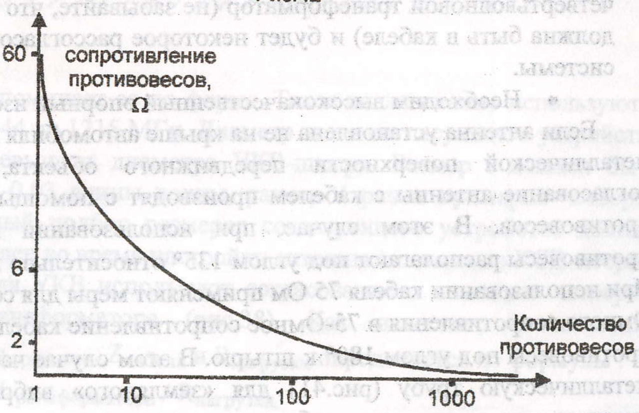


Рис.43

12. «Земля» электрически коротких штыревых антенн.

Ранее уже указывалось на важность использования соответствующих заземляющих устройств для штыревой антенны, особенно если эта антенна электрически коротка. Действительно, сопротивление антенной системы можно найти по формуле:

$R_{а.с.} = R_а + R_з$,

где $R_{а.с.}$ - полное сопротивление антенны,

$R_а$ - сопротивление штыря антенны,

$R_з$ - сопротивление заземляющей системы антенны (рис.42).

При дальнейшем анализе этой формулы для нахождения КПД антенной системы придем к выводу, что для эффективной работы антенной системы необходимо стремиться, чтобы $R_а$ не превышало $R_з$. На графике (рис.43) показано сопротивление заземляющей системы, выполненной из медных проводов диаметром 1 мм для частоты 7 МГц при длине противовесов в четверть длины волны. Расчет произведен с некоторыми приближениями. В параграфе 4 приведены данные сопротивления короткого штыря. Используя эти данные, можно найти минимально необходимое количество противовесов для короткой антенны. Необходимо, чтобы $R_а$ не превышало $R_з$ для того чтобы антенная система работала эффективно. Например, штыревая антенна высотой 1/8 длины волны имеет активное сопротивление около 6 Ом. В этом случае, чтобы 50% подводимой энергии к антенной системе использовалась в штыре на излучение, необходимо иметь хотя бы 10 противовесов длиной в четверть длины волны, а лучше – вдвое больше. Необходимо придерживаться этого правила – чем короче излучающий штырь, тем больше число противовесов требуется для обеспечения его эффективной работы.

Это также относится и к антеннам высотой в четверть длины волны и более. Хотя эффективная работа таких «высоких» антенн возможна с несколькими противовесами, тщательный анализ показывает, что для обеспечения эффективной работы такой антенной системы необходимо хотя бы двенадцать противовесов (см. параграф 2).

В этом параграфе я не рассматривал потерь на согласующих устройствах, которые в общем случае будут также очень высоки.

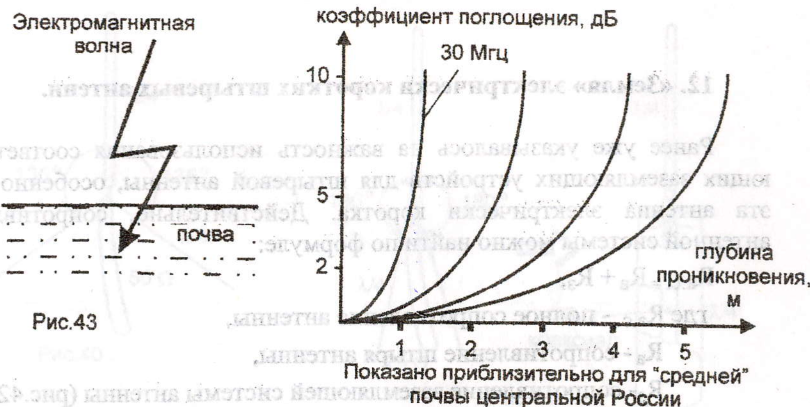


Рис.43

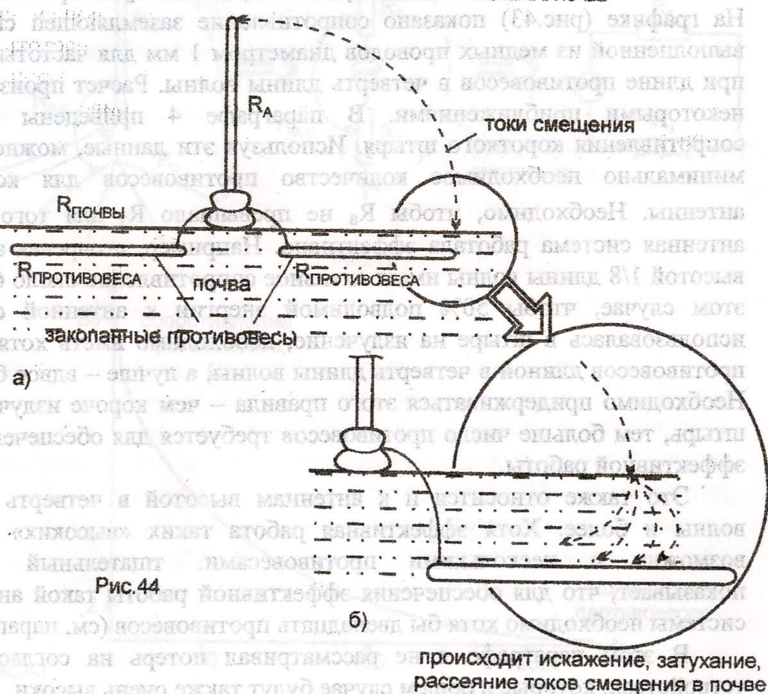


Рис.44

13. Нужно ли закапывать противовесы.

До сих пор еще можно услышать или прочитать рекомендации некоторых радиолюбителей о необходимости закапывать противовесы. Попробуем разобраться с этим. Из-за поверхностного эффекта глубина проникновения электромагнитной волны составляет от примерно 5-10 м на 1,8 МГц до примерно 1 м на 28 МГц (рис.43).

Эти данные приведены для «средней» почвы Центральной России. При мокрой, засоленной или, наоборот, песчаной почве эти значения изменяются. Для эффективной работы противовесов необходимо, чтобы они взаимодействовали хотя бы с 90% энергии электромагнитного поля. Это значит, что теоретически при работе на 160 м противовесы можно закопать на глубину не более 40 см, а при работе на 10 м - на глубину не более 10 см. В этом случае следует принять все меры по обеспечению защиты противовесов от коррозии, т.е. использовать провод в хорошей пластиковой изоляции.

При анализе сопротивления закопанных противовесов, очевидно, что оно складывается из собственно сопротивления «чистых» противовесов плюс сопротивления потерь в почве (рис.44). Это сопротивление потерь непостоянно и зависит от состояния почвы, что усложняет согласование антенны. Возникают искажения диаграммы направленности, обусловленные переходом токами смещения среды «диэлектрик-воздух» (рис.44) и частичным их рассеянием в полупроводящей почве, так же искажением их направления (рис.44).

Исходя из этого можно рекомендовать только один путь избавления от мешающих проходу противовесов на земельном участке – это или поднятие антенны, а вместе с ней и противовесов или использовать антенну-мачту верхнего питания (рис.24).

14. Принципы построения направленных многоэлементных штыревых антенн.

Для того, чтобы неподготовленному читателю были понятны последующие две главы, напомню основы построения направленных антенн.

Предположим, мы возбуждаем антенну А (рис.45), рядом с ней имеется антенна В. Электромагнитная волна, излученная антенной А, наводит токи в антенне В, которая в свою очередь благодаря этому излучает. Излучение антенны В таким же образом влияет на антенну А.

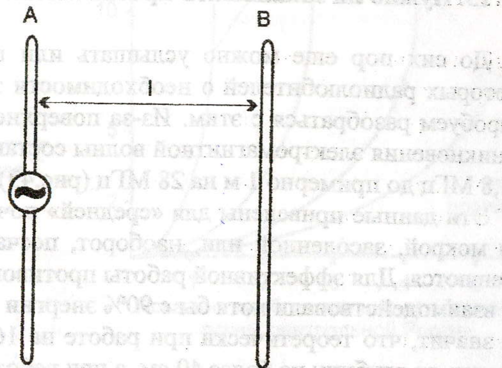


Рис.45

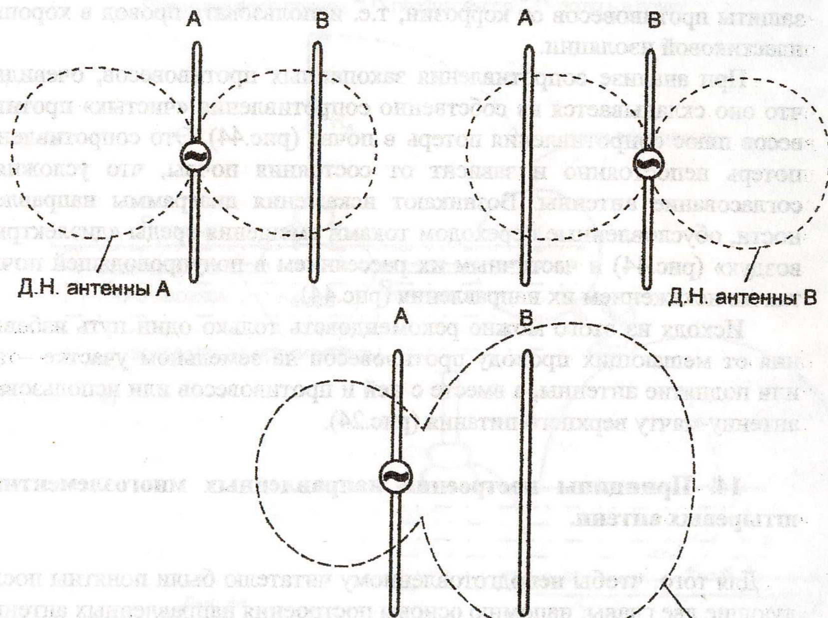


Рис.46

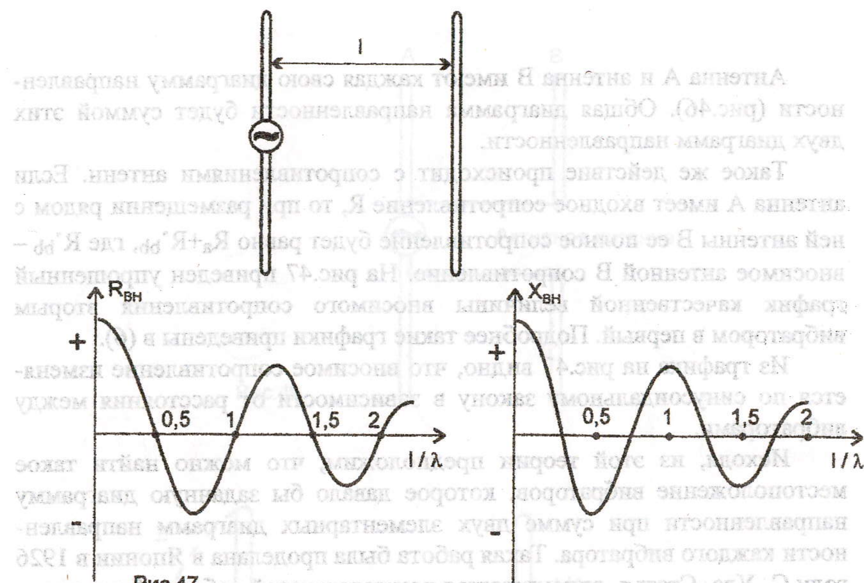


Рис.47

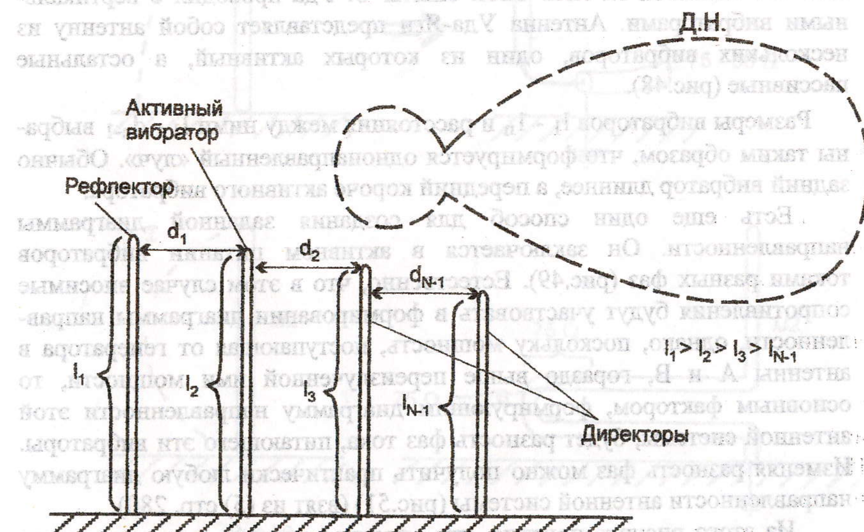


Рис.48 Вертикальная антенна Уда-Яги

Антенна А и антенна В имеют каждая свою диаграмму направленности (рис.46). Общая диаграмма направленности будет суммой этих двух диаграмм направленности.

Такое же действие происходит с сопротивлениями антенн. Если антенна А имеет входное сопротивление R, то при размещении рядом с ней антенны В ее полное сопротивление будет равно $R_a + R'_{bb}$, где R'_{bb} – вносимое антенной В сопротивление. На рис.47 приведен упрощенный график качественной величины вносимого сопротивления вторым вибратором в первый. Подробнее такие графики приведены в (6).

Из графика на рис.47 видно, что вносимое сопротивление изменяется по синусоидальному закону в зависимости от расстояния между вибраторами.

Исходя, из этой теории предположим, что можно найти такое местоположение вибраторов, которое давало бы заданную диаграмму направленности при сумме двух элементарных диаграмм направленности каждого вибратора. Такая работа была проделана в Японии в 1926 году С. Уда. Статья, описывающая результаты этой работы, была написана его коллегой Х. Яги. Свои опыты С. Уда проводил с вертикальными вибраторами. Антенна Уда-Яги представляет собой антенну из нескольких вибраторов, один из которых активный, а остальные пассивные (рис.48).

Размеры вибраторов l_1 - l_n и расстояния между ними l_1 - d_{n-1} выбраны таким образом, что формируется однонаправленный «луч». Обычно задний вибратор длиннее, а передний короче активного вибратора.

Есть еще один способ для создания заданной диаграммы направленности. Он заключается в активном питании вибраторов токами разных фаз (рис.49). Естественно, что в этом случае вносимые сопротивления будут участвовать в формировании диаграммы направленности, однако, поскольку мощность, поступающая от генератора в антенны А и В, гораздо выше переизлученной ими мощности, то основным фактором, формирующим диаграмму направленности этой антенной системы, будет разность фаз тока, питающего эти вибраторы. Изменяя разность фаз можно получить практически любую диаграмму направленности антенной системы (рис.51) (взят из (5) стр. 280).

Из этого рисунка понятно, что антенная система с фазированным питанием предпочтительнее антенны Уда-Яги. Действительно, антенна Уда-Яги строго однодиапазонна. Существуют некоторые трудности, связанные с настройкой ее пассивных элементов. При построении

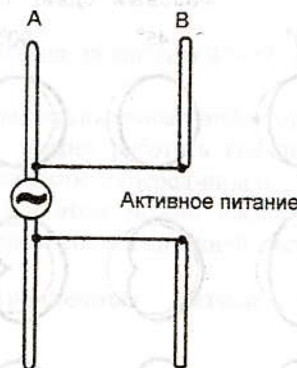
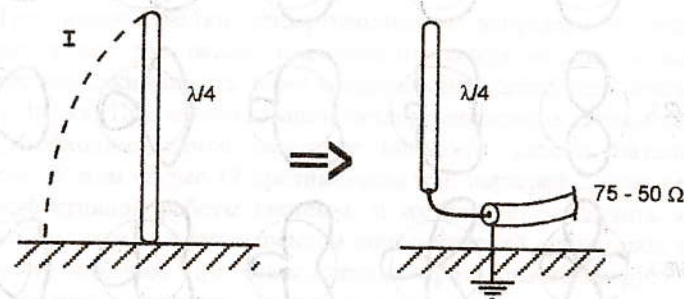


Рис.49



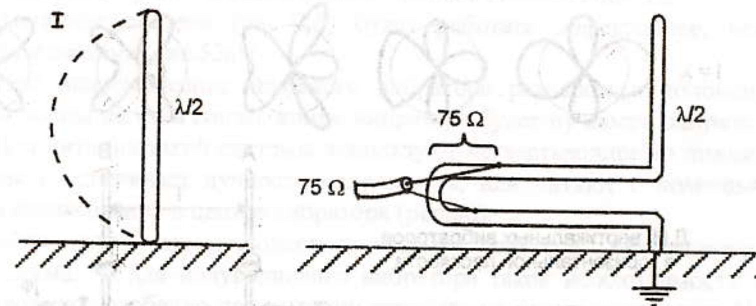
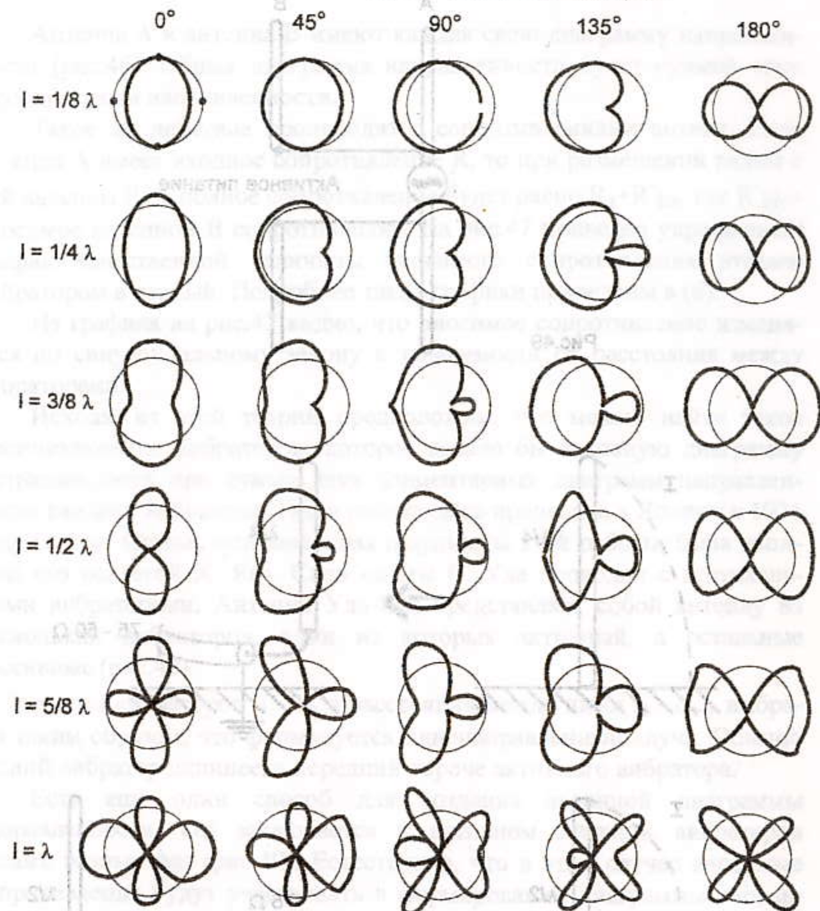
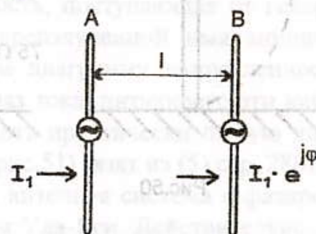


Рис.50





Д.Н. вертикальных вибраторов в горизонтальной плоскости

Рис.51

вертикальной антенны Уда-Яги на диапазоны 40-160 м, пожалуй, даже нечего думать о ее вращении.

Поставив, к примеру, два вертикальных вибратора на 160 м (что, хоть и трудно, но реально), можно работать как на 160 м, причем изменяя диаграмму направленности «вперед-назад», так и на других любительских диапазонах. При этом можно несложно формировать необходимую диаграмму направленности антенной системы.

15. Построение направленных антенн с пассивными элементами.

Есть два пути построения антенн Уда-Яги: это использование четвертьволнового вибратора и использование полуволнового активного вибратора.

При использовании четвертьволнового вибратора пучность тока находится как раз около заземленного конца штыря, и антенную систему несложно питать через коаксиальный кабель или через гамма-согласование. При использовании четвертьволнового активного вибратора необходимо самое серьезное внимание уделить заземляющей системе. В этом случае 12 противовесов (см. параграф 2) уже не хватит для эффективной работы системы, и их следует увеличить хотя бы вдвое. Это связано с уменьшением сопротивлений вибраторов из-за их взаимного влияния. При расположении противовесов следует обеспечить хорошую изоляцию противовесов каждого вибратора друг от друга, или, еще лучше, сделать общую «землю» согласно рис.52.

Антенная система (рис.52б) будет работать эффективнее, чем антенная система (рис.52а).

При использовании активного вибратора размером в половину длины волны на «земляном» конце вибратора будет пучность напряжения. Для питания такой системы используют четвертьволновую линию, которая обеспечивает пучность напряжения, или питают с помощью гамма-согласования в центре вибратора (рис.50).

Если для четвертьволнового штыря система противовесов необходима, то для полуволнового вибратора такой необходимости в противовесах, особенно при питании через гамма-согласование, нет. Но при питании с помощью четвертьволновой линии желательно иметь хотя бы по 4 противовеса под каждым вибратором. В противном случае, эффективность системы будет мала.

Если для четвертьволнового вибратора необходимо, чтобы пассивные элементы были тщательно соединены с противовесами и противовесы должны быть в четверть длины волны, то для полуволнового активного вертикального вибратора необходима изоляция пассивных элементов от противовесов, хотя противовесы для самого вибратора крайне желательны. Длина противовесов должна составлять половину длины волны.

Противовесы также улучшают диаграмму направленности вертикальной штыревой многоэлементной системы, устраняя влияние предметов, находящихся под ними.

Часто при использовании трехэлементных антенн пассивные элементы выполняют так, чтобы была возможность изменять их длину. В этом случае, преобразуя рефлектор в директор, можно изменять диаграмму направленности на 180° (рис.53). Необходимо использовать для этого высококачественные реле, так как в случае четвертьволнового вибратора через контакты протекает большой ток, а в случае полуволнового вибратора существует большое напряжение между корпусом реле и его контактной системой (рис.53).

16. Фазируемые вертикальные антенные системы.

В параграфе 14 было показано, что фазируемые вертикальные антенны могут работать в широком диапазоне частот и могут обеспечивать изменяемую диаграмму направленности антенной системы.

Это обусловило их широкое использование в военной и коммерческой радиосвязи и вещании. Обычно расстояние между вибраторами остаётся неизменным, хотя существуют антенные системы с изменяемым расстоянием между вибраторами. Типичная схема системы приведена на рис.54.

Такая антенная система состоит из n вибраторов, где n от 2 до 10. На каждом вибраторе стоит согласующее устройство 1, которое позволяет согласовать сопротивление линии передачи 4 с сопротивлением вибратора. Линии передачи 4 обычно имеют одинаковую длину до своих фазирующих устройств 2. С помощью этих устройств можно изменять разность фаз и тем самым менять диаграмму направленности. Фазирующие устройства 2 с помощью линии передач 6 связаны с сумматором мощности 3, который питает все эти вибраторы мощностью, подводимой от передатчика 5.

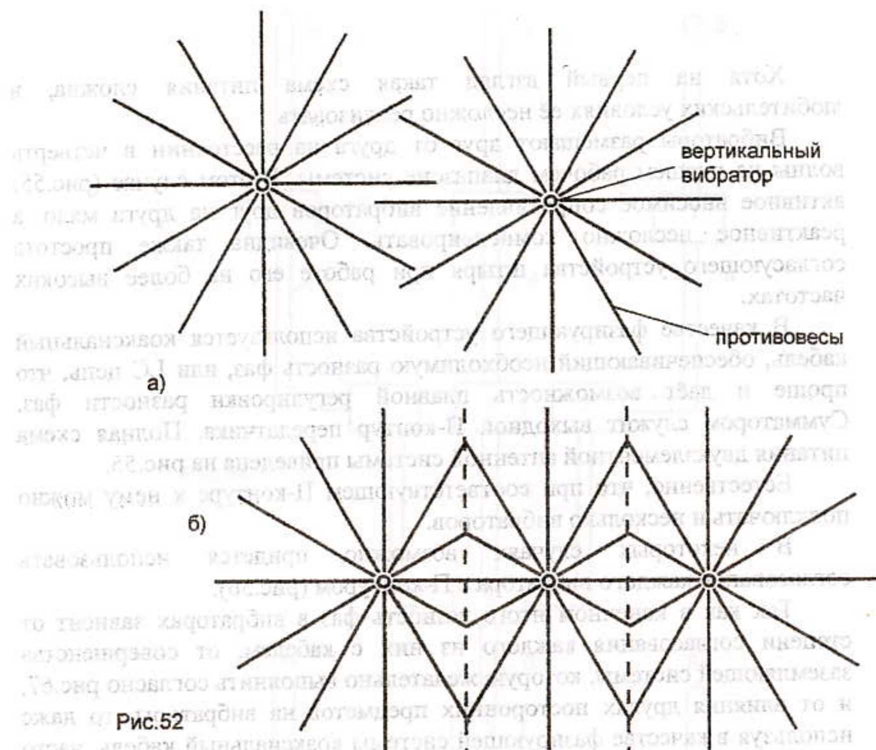


Рис.52

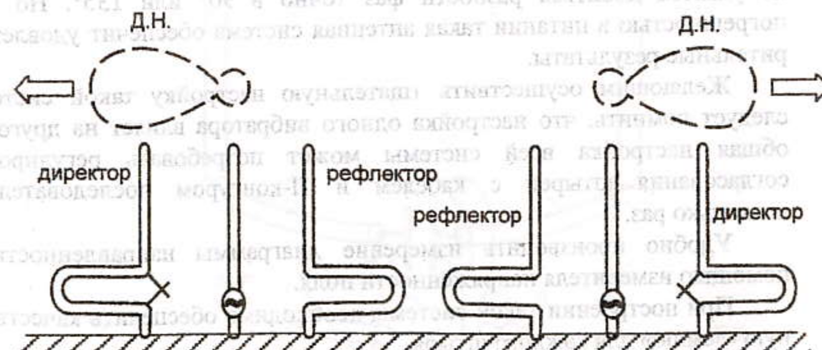


Рис.53

Хотя на первый взгляд такая схема питания сложна, в любительских условиях её несложно реализовать.

Вибраторы размещают друг от друга на расстоянии в четверть волны на низшем рабочем диапазоне системы. В этом случае (рис.55) активное вносимое сопротивление вибраторов друг на друга мало, а реактивное несложно компенсировать. Очевидна также простота согласующего устройства штыря при работе его на более высоких частотах.

В качестве фазирующего устройства используется коаксиальный кабель, обеспечивающий необходимую разность фаз, или LC цепь, что проще и даёт возможность плавной регулировки разности фаз. Сумматором служит выходной П-контур передатчика. Полная схема питания двухэлементной антенной системы приведена на рис.55.

Естественно, что при соответствующем П-контуре к нему можно подключать и несколько вибраторов.

В некоторых случаях возможно придется использовать согласование каждого вибратора с П-контуром (рис.56).

Так как в конечном итоге разность фаз в вибраторах зависит от степени согласования каждого из них с кабелем, от совершенства заземляющей системы, которую желательно выполнить согласно рис.67, и от влияния других посторонних предметов на вибраторы, то даже используя в качестве фазирующей системы коаксиальный кабель, часто не удаётся добиться разности фаз точно в 90° или 135°. Но и с погрешностью в питании такая антенная система обеспечит удовлетворительные результаты.

Желающим осуществить тщательную настройку такой системы следует помнить, что настройка одного вибратора влияет на другой и общая настройка всей системы может потребовать регулировки согласования штырей с кабелем и П-контуром последовательно несколько раз.

Удобно производить измерение диаграммы направленности с помощью измерителя напряжённости поля.

При построении такой системы необходимо обеспечить качественную «землю» для каждого штыря.

Вибраторы можно расположить в линию, используя при этом до 4 вибраторов, можно поэкспериментировать и с нетрадиционными расположением вибраторов в форме квадрата или креста (рис.57).

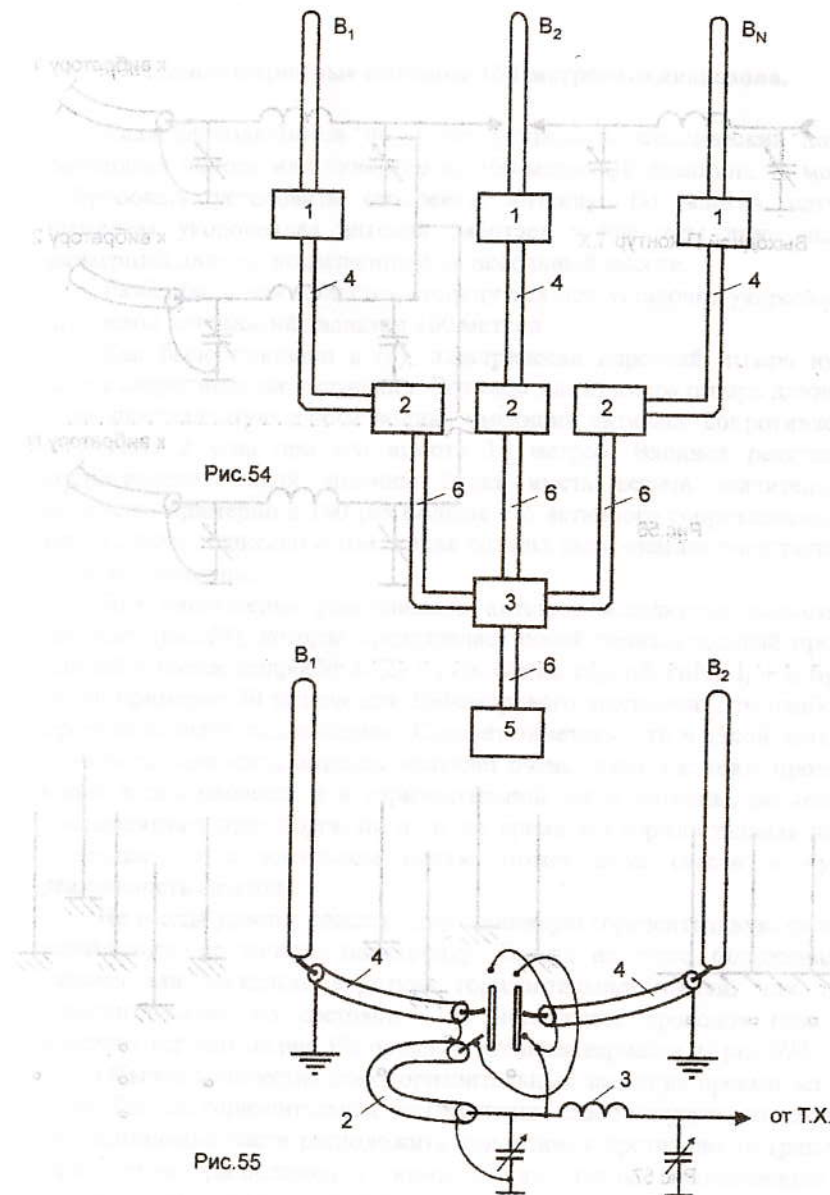


Рис.54

Рис.55

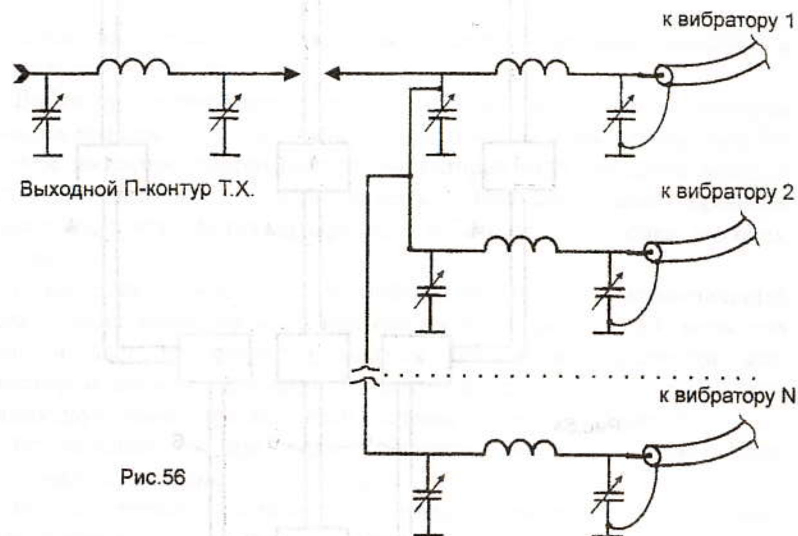


Рис.56

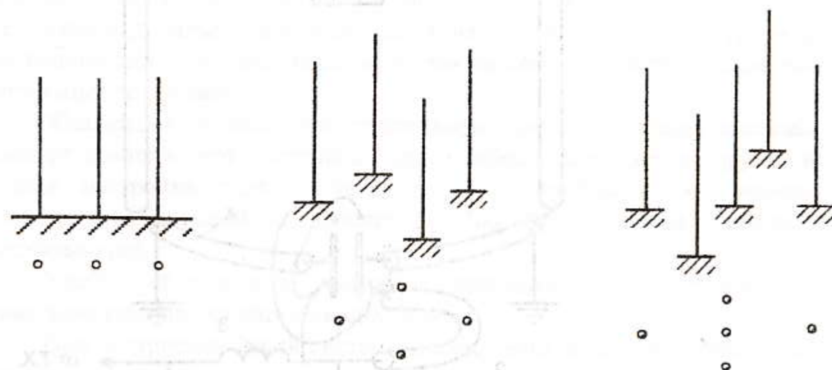


Рис.57

17. Несимметричные антенны 160-метрового диапазона.

Если радиолюбитель не может установить классический полноразмерный диполь или инвертор на 160-метровый диапазон, то можно попробовать установить штыревую антенну. Во многих случаях штыревая укороченная антенна работает лучше, чем даже полноразмерный диполь, подвешенный на небольшой высоте.

Разберём, с чем придётся столкнуться при установке укороченной штыревой антенны на диапазон 160 метров.

Как было показано в (4), электрически короткий штырь имеет малое сопротивление излучения. Возьмём для примера штырь длиной в одну шестнадцатую длины волны, имеющий активное сопротивление излучения 2 Ома при его высоте 10 метров. Входное реактивное сопротивление такой антенны будет иметь весьма значительную величину, примерно в 100 раз больше его активного сопротивления. В пар. 12 было написано о том, какая должна быть «земля» электрически короткой антенны.

Для уменьшения реактивности антенны используют емкостную нагрузку (рис.58), которая представляет собой горизонтальный провод длиной l_2 (более подробно в (2) и (4)). Очень хорошо когда $l_1 + l_2$ будет равно примерно 40 метрам для 160-метрового диапазона. Это наиболее простой вариант согласования. Следует заметить, что в такой антенне горизонтальная часть антенны излучает очень слабо, т.к. токи, протекающие в противовесах и в горизонтальной части антенны, по теории компенсируют друг друга, но в то же время эта горизонтальная часть уменьшает, а в идеальном случае может даже свести к нулю, реактивность антенны.

Не всегда удается сделать такую длинную горизонтальную часть и осуществить ее точную подстройку. Выход из этого положения – сделать или несколько коротких горизонтальных частей, или одну горизонтальную, но состоящую из нескольких проводов (рис.59). Конечно, вариант на рис.59а предпочтительнее варианта на рис.59б.

Обычно количество этих горизонтальных частей не превышает 5-8 штук. Так как горизонтальная часть антенны слабо излучает, то логично горизонтальные части расположить под углом к противовесам (рис.60). При таком расположении компенсации токов, протекающих в удлиняющем отрезке и противовесах, не происходит, и эффективность антенны за счет излучения этих отрезков возрастает. Расстояние от их

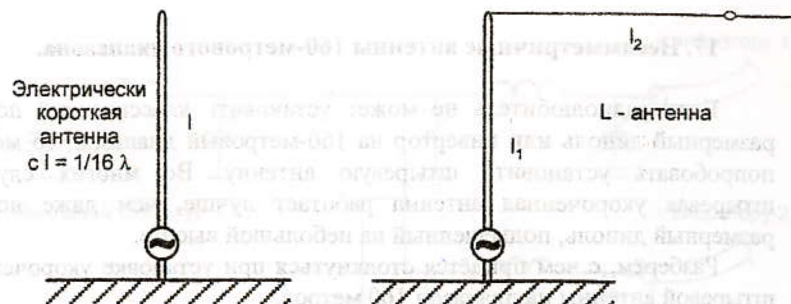


Рис.58

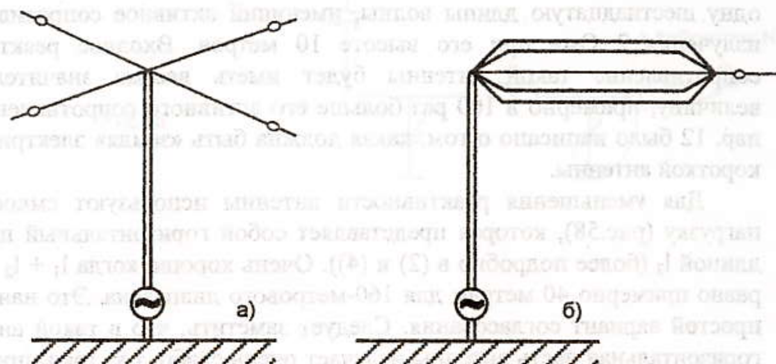


Рис.59

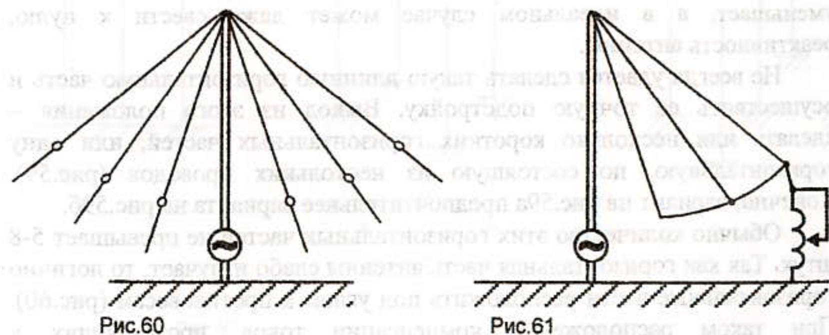


Рис.60

Рис.61

нижних концов до земли должно быть не менее 1-2 м. Эти удлиняющие отрезки будут служить и растяжками мачты основной антенны.

Дальнейшим логическим усовершенствованием такой антенны будет полная компенсация реактивного сопротивления с помощью катушки индуктивности, подключенной к концам удлиняющих отрезков (рис.61). Индуктивность такой катушки для диапазона 160 м может быть от 10 до 200 мкГн, в зависимости от размеров вертикальной части антенны, количества и длины ее наклонных частей. Катушка должна быть выполнена как можно более высококачественно. Классический вариант выполнения – намотка на бутылке проводом 2 мм.

Определим теперь активное сопротивление этой антенны. Оно состоит из сопротивления штыря (2 Ома в нашем случае) и сопротивления излучения компенсирующей части, которая в общем случае будет в 2-3 раза выше сопротивления вертикального штыря.

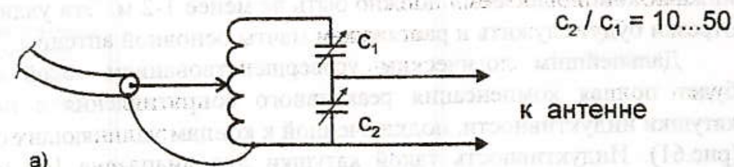
Значит, активное сопротивление антенны на рис.61 будет в 3-4 раза выше, чем сопротивление антенны на рис.32а. Если реактивность антенны на рис.32а составляет 300-600 Ом, то реактивность антенны на рис.61 может быть уже не более 30 Ом и даже меньше.

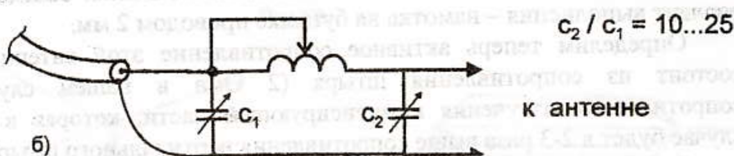
Такую антенну несложно согласовать с коаксиальным кабелем.

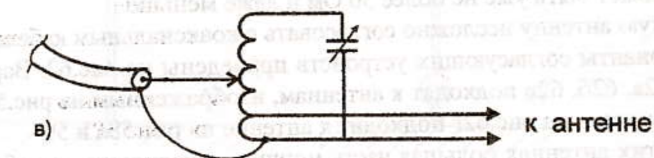
Варианты согласующих устройств приведены на рис.62. Варианты на рис.62а, 62б, 62в подходят к антеннам, изображенным на рис.58б, 59, 60, 61. Вариант на рис.62г подходит к антенне на рис.58а и 59.

В этих антеннах большая часть мощности излучается под большими углами к горизонту, и небольшая часть мощности излучается под малыми углами, что обеспечит проведение DX QSO. Во всяком случае, такая антенна будет гораздо эффективнее диполя, подвешенного на низкой высоте (ниже четверти длины волны).

Хотя такие антенны и используются чаще всего на волне 160 или 80 метров, создание таких малогабаритных антенн представляет интерес для работы в более высоких диапазонах частот. Действительно, антенна для работы в 10-метровом диапазоне может иметь высоту около 50-80 см, и может быть легко установлена на балконе или даже на корпусе трансивера. При конструировании таких электрически коротких антенн заземление должно быть выполнено согласно рекомендациям, изложенным в предыдущих параграфах.







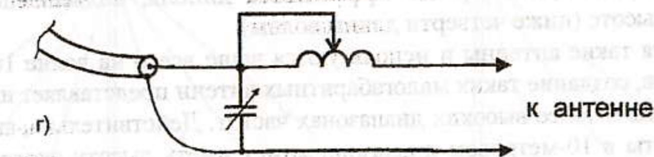


Рис.62

18. Широкополосная фазированная вертикальная антенна с регулируемой диаграммой направленности.

Как известно, в фазированной направленной антенне все ее элементы запитываются от общего генератора (передатчика) с некоторым сдвигом фаз (рис.63). Это ее выгодно отличает от направленных антенн, работающих на принципе переизлучения мощности передатчика пассивными элементами – от антенн Уда-Яги. Действитель-но, если двухэлементная антенна может обеспечить лишь превышение уровня мощности в одном фиксированном направлении, в лучшем случае, не более 4-5 дБ, то фазированная антенная система из двух элементов может обеспечить - теоретически - уровень мощности, в зависимости от направления, на 12-15 дБ больший в сравнении с одноэлементной антенной. При этом, в зависимости от разницы питающих вибраторы фаз и расстояния между вибраторами, можно получить практически любую диаграмму направленности. На рис.51 приведены некоторые диаграммы направленности для системы фазированных антенн. Как видно на рис.51 при расстоянии между вибраторами от четверти до целой длины волны можно практически осуществить сканирование пространства вокруг антенной системы на 360° при этом изменяя лишь разницу фаз, питающих вибраторы, и оставляя неизменным расстояние между ними.

Но в радиолюбительской практике редко встречаются конструкции таких антенн. Это объясняется, очевидно, некоторой сложностью в создании широкополосных фазирующих устройств и делителей мощности. Постройка же такой антенны для одного конкретного диапазона, очевидно, считается все еще некоторой роскошью.

Мной была сделана попытка разработать простую широкополосную фазированную антенную систему на базе антенны UW4HW, которая



Рис. 63

могла бы обеспечить работу со сканированием диаграммы направленности на 360° во всем ее рабочем диапазоне частот. Конструкция антенны показана рис.64.

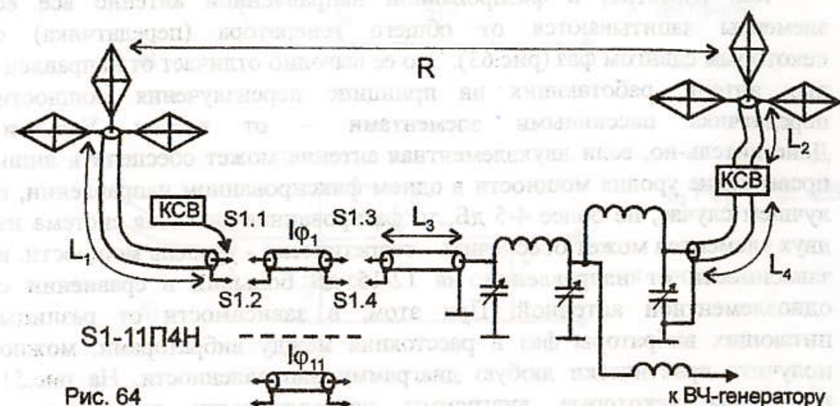


Рис. 64

Практически эта антенна была выполнена и проверена для диапазона частот 200-70 МГц. Высота UW4HW была при этом 1,2 м, диаметр ее был равен 30 см. Использовались три противовеса, по конструкции аналогичных этой антенне. Расстояние между центрами антенн было 1,2 м. Антенна была испытана на 3 частотах - 180, 110 и 70 МГц. Согласующее устройство, аналогичное обыкновенному П-контуру, подбиралось для каждой частоты при отключенной фазирующей линии по минимуму КСВ в каждой антенне. Использовался 75-омный кабель, хотя вполне возможно и использование 50-омного кабеля. Расстояния L_1 и L_2, L_3 и L_4 были соответственно равны.

В фазирующем устройстве был использован переключатель типа 11П4Н. Длины кабелей были подобраны так, чтобы обеспечить сдвиг фаз в 180° на нижнем диапазоне и в 45° на верхнем диапазоне. Промежуточные положения переключателя обеспечивали другие сдвиги фаз. Для измерения напряженности поля использовался приемник прямого усиления с калиброванным стрелочным индикатором. Напряженность поля измерялась в вертикальной плоскости в максимально удаленной зоне, где еще работал приемник, на уровне 1,5 м от земли. Были получены следующие результаты. При переключении фазирующих отрезков линии КСВ каждой из антенн был не хуже 2, при реально достижимом КСВ около 1,5 при отключенной фазирующей

линии. Минимумы диаграммы направленности антенны достигали более 10 дБ, причем этот результат был достижим на всех трех частотах измерения.

На основе полученных результатов возможно предложить, что вполне реально построить малогабаритную широкополосную антенную систему с изменяемой диаграммой направленности, используя реальные UW4HW. Например, используя две антенны высотой 5,1 м, расположенных на расстоянии 5-6 м друг от друга, можно создать антенну со сканирующей диаграммой направленности в диапазоне 10-30 МГц. При этом сканирование осуществляется довольно просто – переключением отрезков кабеля. В зависимости от наличия у радиолюбителя переключателя на 11 положений или на 22 (довольно дефицитных), можно получить самые разнообразные диаграммы направленности антенн. Фазирующее устройство должно обеспечивать сдвиг фаз на нижней частоте в 180° и на высшей - в 45°. Между этими положениями можно разместить остальные фазирующие линии исходя из компромиссов работы на других диапазонах и на создании удовлетворяющей радиолюбителя диаграммы направленности.

Снять диаграмму направленности полученной системы реально возможно только практическим путем. Если полученная диаграмма не будет удовлетворять в какой-либо точке фазы на каком-либо из любительских диапазонов, ее можно изменить, увеличив или уменьшив длину фазирующих линий в этом положении. Недостатком этой антенны является необходимость подключения своего согласующего устройства для каждого диапазона. Но поскольку оно широкополосное, то его можно настроить на каждый диапазон отдельно, используя постоянные индуктивности и емкости.

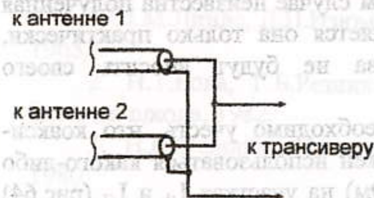


Рис. 65

Согласующее устройство желательно использовать при работе с транзисторными аппаратами, имеющими фиксированный выход 75 или 50 Ом. При работе с ламповыми трансиверами оно необязательно. Антенны можно подключать непосредственно к выходу трансивера (рис.65). Такое подключение возможно и с транзисторными аппаратами, но, конечно, если их выходной каскад выдержит такое «издевательство».

Длину одного градуса фазированной линии можно легко рассчитать по формуле: L = λ/360, где L – длина одного градуса, а λ - длина волны в метрах.

Рассчитав длины фазирующих линий, в (5) диаграммы направленности показаны для длин 0°, 45°, 90°, 135° и 180°, важно обеспечить два крайних сдвига для верхней и нижней частоты антенны (45° и 180°), остальные проявятся между оставшимися 8 положениями переключателя (одно положение для сдвига фаз 0°), ведь здесь неважно поддерживать точнейшие соотношения, все равно диаграмма направленности будет! Для кабеля с полиэтиленовой изоляцией длину фазирующей линии необходимо уменьшить в 0,66 раз из-за эффекта укорочения длины волны в кабеле, а для кабеля с фторопластовой изоляцией в 0,8 раз по сравнению с расчетным значением.

Для эффективной работы фазированной антенны необходимо использовать не менее трех резонансных противовесов на каждый из рабочих диапазонов антенны или трех противовесов конструктивно аналогичных самой UW4HW. Показания КСВ-метров, включенных в каждую из антенн, не должны отличаться более, чем на 40 %. В противном случае необходимо изменить длину фазирующей линии на этом участке. Можно, конечно, настроить согласующее устройство (если оно используется) не на участке, где фаза рассогласования питания антенн равна 0, а на этом или на другом участке, где изменение фазы приводит к повышенному КСВ одной из антенн.

Но следует понимать, что в этом случае одно из согласующих устройств внесет свой дополнительный постоянный сдвиг фаз между антеннами. Хотя в случае использования такой антенной системы для радиолюбительских целей этот постоянный сдвиг фаз и не важен, так как все равно нам теоретически в общем случае неизвестна полученная диаграмма направленности, и определяется она только практически, лучше, если согласующие устройства не будут вносить своего дополнительного сдвига фаз.

При конструировании антенны необходимо учесть, что коаксиальный кабель (а для антенны он должен использоваться какого-либо определенного типа – или 50 или 75 Ом) на участках L_1 и L_2 (рис.64) должен быть одинаковой длины, а длина его может определяться только расстоянием от антенны до радиостанции. Кабель может идти к антенне любым путем – или поодиночке к каждой из антенн, или быть сплетенными вдвое. Это практически не имеет значения.

Фазирующее устройство может располагаться там, где удобно (в зависимости от его размеров, которые определяются диапазоном работы антенны). В фазирующем устройстве коаксиальный кабель, используемый для фазирования, можно свернуть в небольшие бухточки, обмотав их в нескольких местах изолентой. Необходимо отметить, что для корректной работы фазирующего устройства необходимо проключать куски кабеля полностью (как центральную жилу, так и его оплетку). Общая «земля» для фазирующих отрезков здесь недопустима. Нельзя проключать фазируемые отрезки во время работы антенны на передачу во избежание обгорания контактов переключателя.

Снятие диаграммы направленности антенны является одним из сложных моментов, поскольку получаемая диаграмма является, в общем случае, многолепестковой, причем как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости. Наиболее рационален и прост метод, когда диаграмма направленности определяется по разнице силы сигналов передающей станции, но он достаточно кропотлив, и также в общем случае не может обеспечить достаточной точности, так как неизвестно, какой лепесток диаграммы направленности оптимален для работы с конкретным местом, где происходит проверка слышимости.

Однако, несмотря на перечисленные недостатки, эта антенна является, на мой взгляд, самой простой и дешевой в исполнении из существующих широкополосных направленных вертикальных антенн. Следует в заключение отметить, что система из трех вертикальных антенн, расположенных в вершинах равнобедренного треугольника, питаемая со сдвигом фаз, даст еще лучшую диаграмму направленности, практически аналогичную трехэлементной директорной антенне.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Н.М.Линде, Д.П.Изюмов. Основы радиотехники. М.-Л. Энергия, 1965.

2. Н.Т.Бова, Г.Б.Резников. Антенны и устройства СВЧ. Киев, Высшая школа, 1982.

3. Н.Н.Федоров. Основы электродинамики. М. Высшая школа, 1980.

4. Г.Б.Белоцерковский. Основы радиотехники и атенны. М. Радио и связь, 1983.

5. З.Беньковский, Э.Липинский. Любительские антенны коротких и ультракоротких волн. М. Радио и связь, 1983.

6. Г.З.Айзенберг. Коротковолновые антенны. М. Радио и связь, 1985.

7. Г.И.Атабеков и др. Теоретические основы электротехники. М. 1979.

8. Г.А.Татур. Основы теории электрических цепей. М. Высшая школа, 1980.

Глава 2. Магнитные рамочные антенны.

1. Рамочная и петлевая антенны и их использование.

Рамочная антенна имеет один или несколько витков провода общей длиной не более 0,1-0,2 длины волны, на которой работает эта рамка.

Петлевая антенна состоит из одного, реже нескольких, витков провода общей длиной более 0,4 длины волны. Чаще всего используют петлевую антенну с периметром, равным длине волны — классический квадрат (если провод расположен в форме квадрата) или дельта (если провод расположен в форме греческой Δ).

Рамочные антенны имеют низкий КПД, обычно не более 3%, поэто-му на передачу их используют редко. В 20-30-х годах их стали применять как внутренние антенны для приемников, а также использовать в целях пеленгации. В наше время в любом малогабаритном транзисторном приемнике длинных-средних волн есть рамочная антенна – это так называемая «ферритовая», «магнитная» антенна, которая все же является рамочной (рис.1).

В конце 80-х - начале 90-х годов в Европе и США среди радиолюбителей стало модно работать на ВЧ-диапазонах на «магнитные рамки». Следует отметить, что дальние связи при работе «магнитной



Рис.1

рамки» на передачу были возможны лишь благодаря тому, что этому способствовала активность Солнца. При обычном состоянии ионосферы работать на магнитную антенну на передачу крайне сложно. Широко используют «магнитные рамки» и в качестве антишумовых антенн, о чем будет написано ниже.

Петлевую антенну ввел в радиолюбительский мир W9LZX. Это произошло в 1942 году, когда он использовал подобную антенну на вещательной миссионерской станции HCJB, расположенной в горах Эквадора. Благодаря эфиру петлевая антенна (рис.2) сразу завоевала радиолюбительский мир и с тех пор широко используется в любительской и профессиональной связи.

В нашу страну эта антенна пришла в 50-е годы, и с тех пор используется на наших станциях.

В бывшем СССР, очевидно, вследствие его изоляции от внешнего мира и боязни перенимать что-то новое, не установилась терминология для обозначения рамочных и петлевых антенн. На Западе рамочную антенну с периметром рамки менее 0,1 длины волны называют «magnetic loop» (магнитная петля), рамочную антенну с периметром более 0,4 длины волны называют просто «loop» (петля).

В настоящей работе будет использован термин «магнитная рамка», иногда, в главах, где речь идет только о магнитных рамочных антеннах, просто «рамочная антенна», «рамка». В главах, где будет идти речь о петлевых антеннах, будет также использоваться термин «рамочная антенна» как уже устоявшийся среди радиолюбителей.

2. Диаграмма направленности магнитных рамочных антенн.

Диаграмма направленности рамочных антенн имеет вид восьмерки (рис.3). Благодаря этому антенны и используют для пеленгации.

Если плоскость рамки лежит в плоскости принимаемой волны, то токи I_1 и I_2, наводимые в вертикальных сторонах рамки, имеют разные фазы вследствие их разного удаления от источника сигнала. При этом работают только вертикальные стороны рамки 1-2 и 3-4, горизонтальные стороны рамки 2-3 и 1-4 в этом случае не участвуют в приеме сигнала, имеющего вертикальную поляризацию (1). Если плоскость рамки составляет 90° с плоскостью приема волны (рис.4), то токи I_1 и I_2 равны по величине и фазам, и их сумма будет равна нулю. Все это верно только для симметричной рамки.



Рис.3

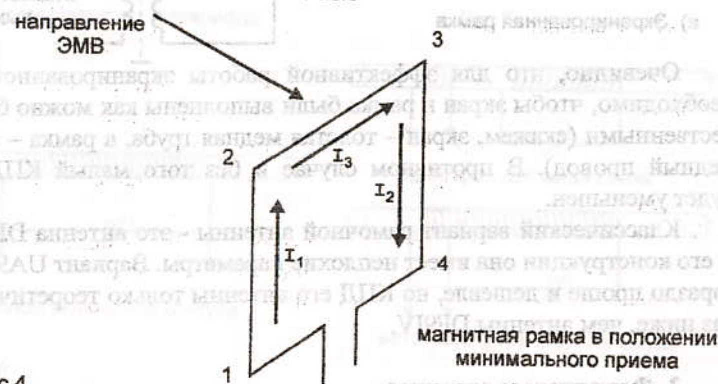


Рис.4

В реальных случаях всегда наблюдается асимметрия рамки, которая обусловлена влиянием каких-либо предметов на рамку. В результате этого ее диаграмма направленности искажается, и проявляется «антенный» эффект рамки. Это происходит из-за того, что токи, текущие в разных сторонах рамки, не будут симметричными.

Так как рамка реагирует только на магнитную составляющую поля (2), из этого положения нашли простой выход: рамку электрически экранируют (рис.5). В этом случае в зазоре экрана разность потенциалов возникает только за счет противофазных токов наведенной волной на внешней поверхности экрана. Рамка имеет одинаковую емкость относительно экрана, и в ней наведутся только противофазные токи. Для дальнейшего улучшения симметрии рамки используют ее симметричное включение к приемнику, причем в этом случае используют и транс-

форматор с электростатическим экраном, который значительно уменьшает «антенный» эффект рамки (рис.5б).

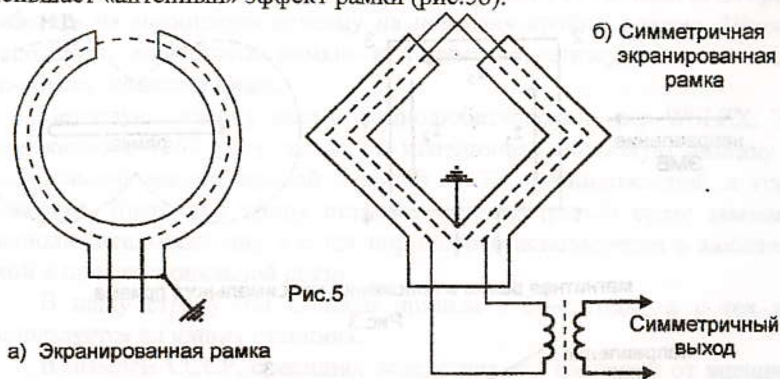


Рис.5

Очевидно, что для эффективной работы экранированной рамки необходимо, чтобы экран и рамка были выполнены как можно более качественными (скажем, экран – толстая медная труба, а рамка – толстый медный провод). В противном случае и без того малый КПД рамок будет уменьшен.

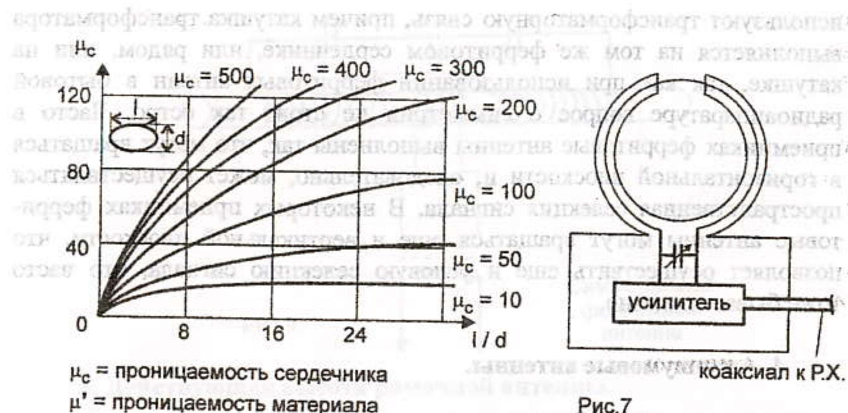
Классический вариант рамочной антенны - это антенна DF9IV (3). В его конструкции она имеет неплохие параметры. Вариант UA9KEE (4) гораздо проще и дешевле, но КПД его антенны только теоретически в 7 раз ниже, чем антенны DF9IV.

3. Ферритовые антенны.

Магнитные антенны, широко используемые в транзисторных приемниках ДВ-СВ и реже КВ, являются разновидностью рамочных антенн.

Их особенность – наличие сердечника с высокой магнитной проницаемостью. Это позволило уменьшить размеры рамки с ферритом по сравнению с рамкой без него примерно на величину, равную значению магнитной проницаемости ферритового сердечника. Проницаемость ферритового сердечника всегда меньше проницаемости материала, из которого он изготовлен. Это объясняется размагничивающим действием концов сердечника и, отчасти, воздействием на него магнитного поля Земли.

Из рис.6 можно определить значение проницаемости сердечника в



μ_c = проницаемость сердечника
μ' = проницаемость материала
Рис.6
Рис.7

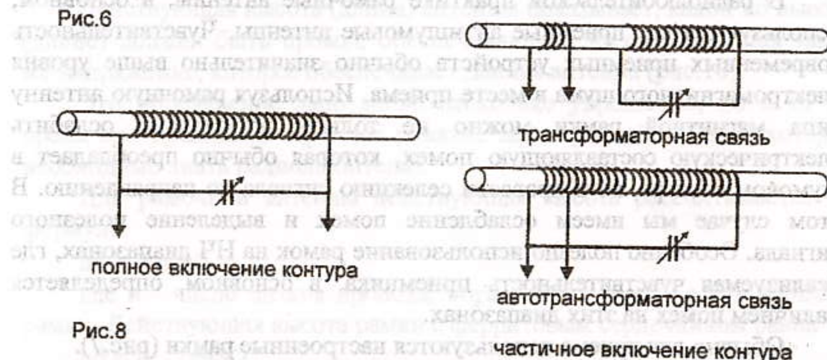


Рис.8

зависимости от его длины (5). Из этого рисунка видно, что чем длиннее ферритовый сердечник, тем лучше он работает в качестве сердечника для магнитной ферритовой антенны. Феррит, используемый в антенне, должен иметь малые потери.

Использовать ферритовые магнитные антенны в качестве передающих нельзя. Во-первых, феррит не работает в сильных магнитных полях. А во-вторых, не будет согласования излучающей магнитной ферритовой рамки со средой (6).

Рамочная ферритовая антенна имеет такую же диаграмму направленности, как и простая рамочная антенна.

Очень часто выполняют настраиваемую рамочную антенну (рис.7). При этом используют или полное включение контура, или, при использовании биполярных транзисторов, частичное (рис.8). Часто

используют трансформаторную связь, причем катушка трансформатора выполняется на том же ферритовом сердечнике, или рядом, или на катушке, так как при использовании ферритовых антенн в бытовой радиоаппаратуре вопрос о симметрии не стоит так остро. Часто в приемниках ферритовые антенны выполнены так, что могут вращаться в горизонтальной плоскости и, следовательно, может осуществляться пространственная селекция сигнала. В некоторых приемниках ферритовые антенны могут вращаться еще и вертикальной плоскости, что позволяет осуществить еще и угловую селекцию сигнала, что часто тоже бывает полезно.

4. Антишумовые антенны.

В радиолюбительской практике рамочные антенны, в основном, используются как приемные антишумовые антенны. Чувствительность современных приемных устройств обычно значительно выше уровня электромагнитного шума в месте приема. Используя рамочную антенну типа магнитной рамки можно не только значительно ослабить электрическую составляющую помех, которая обычно преобладает в шумовом спектре, но и провести селекцию сигнала по направлению. В этом случае мы имеем ослабление помех и выделение полезного сигнала. Особенно полезно использование рамок на НЧ диапазонах, где реализуемая чувствительность приемника, в основном, определяется наличием помех на этих диапазонах.

Обычно для приема используются настроенные рамки (рис.7).

В усилителях используют малошумящие полевые транзисторы. Такая рамка в зависимости от ее размеров может работать в диапазоне от 30 до 1,8 МГц.

При конструировании приемных рамочных антенн, работающих только в диапазоне 1,8-3,5 МГц часто отдают предпочтение ферритовым антеннам (рис.9). В этом случае применяют простые меры для симметрирования антенны – это симметрирующие трансформаторы и выполненная специальным образом намотка ферритовой антенны.

Следует еще раз напомнить, что рамочные антенны имеют значительное ослабление полезного сигнала по сравнению с другими, поэтому их можно использовать только с высокочувствительными приемниками.

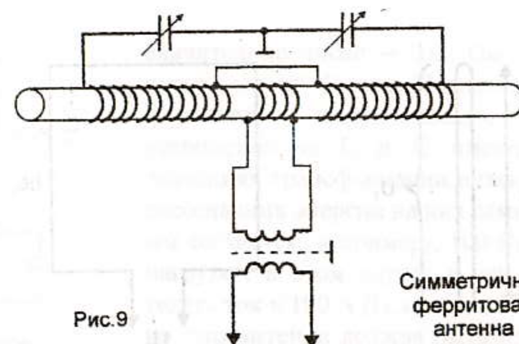


Рис.9

5. Действующая высота рамочной антенны.

Действующая высота (длина) антенны показывает, какой по высоте (длине) должен быть провод, обеспечивающий на своих концах такое же напряжение, которое обеспечивает данная антенна (рис.10).

Это определение дано мною несколько упрощенно, но в то же время оно правильно отражает понятие действующей высоты, которое необходимо знать радиолюбителю.

Для рамочной антенны действующая высота рассчитывается по формуле:

$h_d = 2\pi nS/\lambda$,

где n - число витков провода, образующих рамку, а S - площадь рамки. Действующая высота рамки с ферритовым сердечником равна

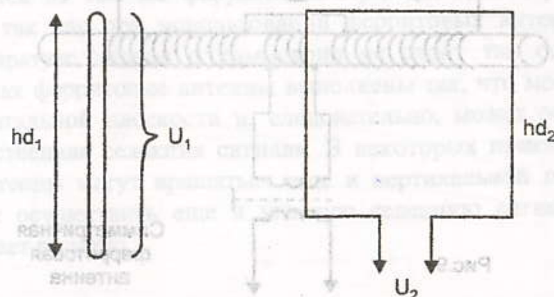
$h_d = \mu_c \cdot 2\pi nS/\lambda$,

где μ_c - проницаемость сердечника.

В таблице на (рис.11) показана действующая высота одновитковой рамки ⌀ 20 см на диапазонах 160, 80, 40, 20, 10 м. Из таблицы видно, что одновитковая рамочная антенна имеет действующую высоту меньше, чем ее радиус. Но не надо расстраиваться – за счет того, что антенна настраивается в резонанс (рис.7,8), ее эффективность возрастает.

6. Входное сопротивление рамочной антенны.

Входное сопротивление антенны определяется в общем случае отношением напряжения к току на ее входных клеммах и характеризует антенну как нагрузку для генератора (рис.12).



При равенстве $U_1 = U_2$ действующая высота провода hd_1 равна действующей высоте рамки hd_2.

Рис.10

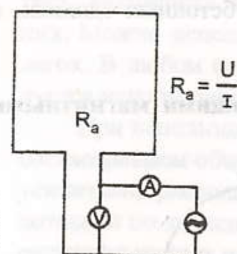
Диапазон, м	160	80	40	20	10
hd, см	0.125	0.25	0.5	1	2

Рис. 11.

Большинство используемых радиолюбителями антенн имеет входное сопротивление в пределах 36-100 Ом. Это удобно по следующим причинам:

- сопротивление общеупотребительных коаксиальных кабелей составляет 50, 75 и 100 Ом, что дает возможность питать антенны непосредственно кабелем или с помощью несложных согласующих устройств;
- значения тока и напряжения высокой частоты относительно невелики, что дает возможность использовать недорогие коаксиальные кабеля.

Как только сопротивление антенны резко отличается от 50-100 Ом, приходится применять согласующие устройства. В случае, если сопротивление значительно выше, скажем, 300-600 Ом, используют трансформаторы и открытые линии. Но в случае, если сопротивление



R_a - входное сопротивление рамки

Рис.12

значительно ниже — 1-5 Ом — возникают серьезные проблемы. Использование трансформаторов затруднительно, согласующие устройства на L и C имеют при таких значениях трансформации низкий КПД ввиду рассеивания энергии на них самих. Даже если мы согласуем, к примеру, 100 Вт на 1-Омную нагрузку, в этом случае в ней должен протекать ток в 100 А (!), причем, ВЧ-ток. Понятно, что антенна должна быть изготовлена из очень качественного материала. Использовать такую низкоомную антенну на передачу сложно.

Во-первых, происходят потери на согласующем устройстве, во-вторых, потери в самой антенне. Вот почему использование магнитной рамки на передачу часто имеет лишь теоретический характер. Но приведем формулу для расчета входного сопротивления магнитной рамки (3):

$R = 800 \times (hd / \lambda^2)$.

К примеру, расчетное входное сопротивление рамки диаметром 30 см, имеющей 10 витков при работе на длине волны 50 м будет равно 0,25 Ом. Естественно, что согласовать антенну, имеющую такое низкое входное сопротивление, чрезвычайно трудно.

В случае, если рамка настроена (рис.7), ее входное сопротивление со стороны конденсатора будет велико (килоомы), и, опять же, ее согласовать будет еще труднее.

Радиолюбители обычно используют согласование с помощью магнитной петли связи, как использует DF9IV. Но и такое согласование имеет весьма низкий КПД.

7. «Земля» в работе рамочной антенны.

Рамочная антенна, как уже отмечалось, реагирует только на магнитную составляющую радиоволны. Земля для данного типа антенн не нужна. В общем случае, как приемная, так и передающая антенны часто расположены на незначительном (1-2 м) удалении от земли, и она практически не мешает их работе. Магнитная составляющая проникает

глубже электрической, что позволяет использовать магнитные рамки там, где обычные антенны уже не работают – в бетонных зданиях, в землянках.

8. Связь коаксиального кабеля с передающими магнитными рамочными антеннами.

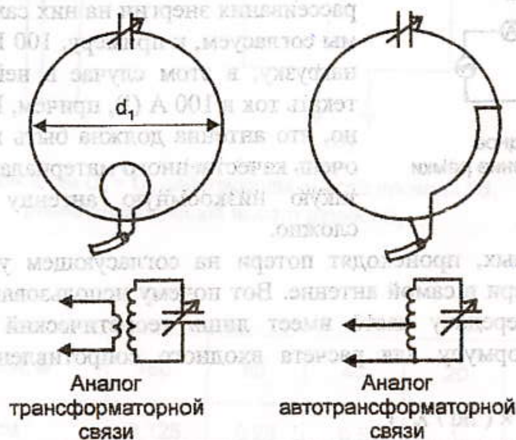


Рис.13

При работе таких антенн на передачу используют два вида связи – через петлю и через гамма-согласование (рис.13). Нужно обратить внимание, что как петля связи, так и гамма-согласование находятся точно напротив подстроечного конденсатора. Это необходимо для сохранения симметрии самой рамки.

Обычно диаметр петли связи равен 1/5 диаметра основной рамки. С помощью петли связи можно получить удовлетворительное согласование во всем диапазоне частот работы магнитной рамки. Провод для петли связи необходимо использовать по возможности не тоньше того, из которого сделана магнитная рамка. Второй вид согласования – гамма-согласование. Диаметр провода, используемый в гамма-согласовании примерно в 2-5 раз тоньше основной рамки. Расположен он на высоте около 0,05-0,15 диаметра основной рамки. Длина L гамма-согласования не более 0,2 длины рамки и часто составляет даже 0,1 длины рамки. Гамма-согласование требует более тщательной настройки при работе на разных диапазонах, но имеет КПД выше, чем

согласование с помощью петли связи. При использовании рамки в двух-трех диапазонах можно найти оптимальное гамма-согласование для них. Можно использовать замыкающие перемычки, если доступ к раме легок. В любом случае, при использовании магнитных рамок рекомендуется использовать тюнер (7).

При использовании рамок только в качестве приемных проблемы с согласованием обычно не бывает. Для этого используют транзисторный усилитель, расположенный непосредственно около рамки (рис.7), от которого по коаксиальному кабелю отфильтрованный и усиленный ВЧ-сигнал поступает на вход приемника.

9. Размеры и исполнение магнитных рамочных антенн.

Для передающей рамочной антенны обычно характерны размеры, приведенные в таблице (рис.14).

Диаметр рамки, см	50	80	100	200	300	400
Высшая рабочая частота, МГц	29	21	14	7	3,5	1,9

Рис.14

При этих размерах рамка будет эффективно работать на высшем диапазоне и в трех соседних, например, 28-21-14 или 7-3, 5-1, 9. Максимальная ее эффективность будет на высшем диапазоне, на нижнем – эффективность будет снижаться. Эта таблица приведена для магнитной рамки без экрана. В случае использования рамки с электростатическим экраном следует учитывать емкость внутреннего провода на экран, что уменьшает резонансную частоту рамки. Вообще для эффективной работы рамки ее периметр должен быть не менее 0,08 длины волны, на которой эта рамка работает.

С помощью конденсатора рамку можно настроить и на еще более низкие диапазоны, но ее эффективность как передающей будет уже весьма низкой.

Однако, давайте разберемся, от чего зависят оптимальные свойства магнитных рамок. Как было показано выше, в параграфе 5, входное сопротивление магнитных рамок весьма мало. Это приводит к существенным сложностям при согласовании антенных систем, в которые магнитная рамка включена непосредственно как антенна (рис.7).

Как и всякий провод, рамочная антенна имеет свою величину индуктивности. Эту величину можно рассчитать теоретически и измерить

с помощью соответствующих приборов. Включив на разомкнутых концах рамки конденсатор, получим обычный колебательный контур, который с помощью этого конденсатора можно настроить в широком диапазоне частот. На (рис.13) понятна связь кабеля через петлю связи – аналог индуктивной связи с контуром и через гамма-согласование – аналог трансформаторной связи с контуром. Понятно, что при трансформаторной связи можно согласовать рамку более тщательно.

В этом колебательном контуре, образованном рамкой и конденсатором, электрическое поле сосредоточено внутри конденсатора, а магнитное – вокруг рамки. Именно магнитное поле и является в дальнейшем причиной электромагнитной волны, которую излучает антенная система. Если мы будем решать задачу для нахождения оптимальных размеров рамки и емкости конденсатора, то результатом решения и будут приведенные выше цифры - длина рамки около 0,08 длины волны и емкость конденсатора около 30-50 пФ для диапазона 30 - 2 МГц.

Если мы возьмем рамку меньшей длины, то она уже не будет излучать столь сильно, из-за малой добротности рамки Q, которая, как известно, определяется как:

$Q = (L / C) / R_n$,

где L - индуктивность рамки, C - емкость на конце рамки, R_n - сопротивление потерь в рамке.

Понятно, что минимальное сопротивление потерь и максимальное отношение L / C будет у одновитковой рамки. Есть еще одна чисто физическая причина эффективной работы одновитковой рамки. Для максимального излучения необходимо охватить магнитным полем как можно больший объем пространства, что выполняется только у одновитковой магнитной рамки.

Если мы используем рамку большей длины, чем 0,08 рабочей длины волны, то она уже может не настроиться в резонанс и, вследствие этого, ее согласование станет проблематичным. Если же применим еще и рамку с электростатическим экранированием, то, учитывая емкость экрана на рамку и протекающие емкостные токи между рамкой и экраном, можно ожидать снижения ее эффективности по сравнению с неэкранированной рамкой при работе ее на передачу.

Итак, для работы на передачу лучше всего использовать одновитковую рамку. При настройке рамки в резонанс по ней могут протекать ВЧ-токи в сотни ампер, в зависимости от мощности вашего передатчика и степени согласования его с рамкой. Поэтому для

передающей магнитной рамочной антенны важно, чтобы она была выполнена по возможности из медной трубы как можно большего диаметра. Желательно, чтобы ее поверхность была отполирована до зеркального блеска. Конденсатор переменной емкости обязательно должен быть высококачественным и, по возможности, не имеющим трущихся контактов. В крайнем случае, можно использовать обычный спаренный конденсатор, у которого будут подключены к рамке только статорные (неподвижные) пластины (рис.15). Естественно, в этом случае необходимо использовать ручку из хорошего диэлектрика для настройки рамки. Конденсатор должен быть высокодобротным, это является важным условием эффективной работы рамки на передачу. Поэтому он должен быть или воздушным или вакуумным – с твердым диэлектриком использовать нежелательно.

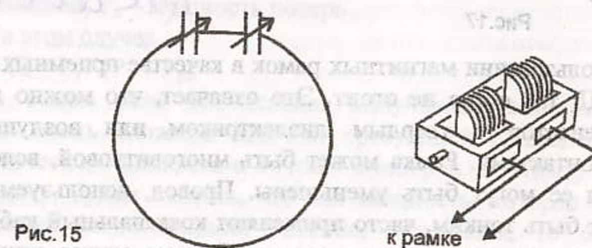


Рис.15

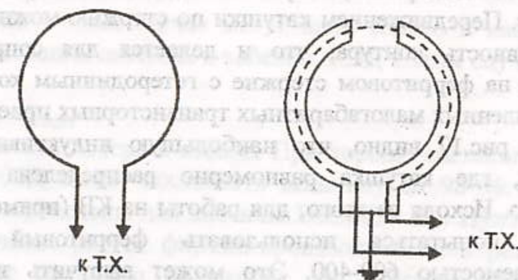


Рис.16

Следует заметить, что иногда встречаются сообщения об использовании радиолюбителями ненастраиваемых магнитных рамочных антенн для работы на передачу (рис.16). Даже теоретически задача эффективного согласования такой рамки с передатчиком очень сложна и выходит за пределы чистого радиолюбительства, поэтому этот тип антенн здесь не рассмотрен. Не рекомендуется их использовать без

надлежащей теоретической и практической подготовки, так как результат будет весьма неутешителен.

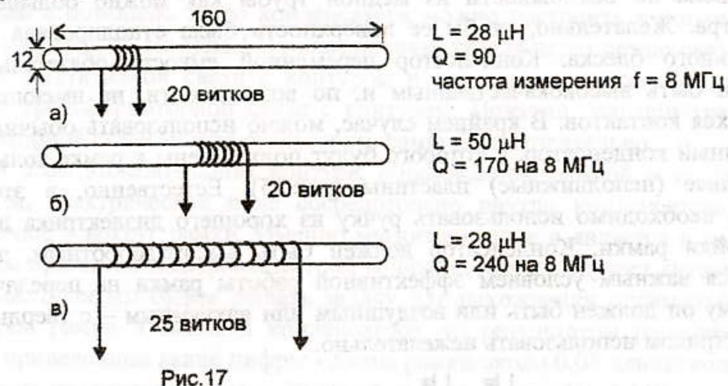


Рис.17

При использовании магнитных рамок в качестве приемных антенн проблема КПД так остро не стоит. Это означает, что можно использовать конденсатор с твердым диэлектриком или воздушный с трущимися контактами. Рамка может быть многовитковой, вследствие чего размеры ее могут быть уменьшены. Провод, используемый для рамки, может быть тонким, часто применяют коаксиальный кабель для выполнения магнитных приемных рамок. В этом случае внутренняя жила и есть сама рамка, а экран кабеля выполняет роль экрана рамочной антенны. Передвижением катушки по стержню можно плавно изменять индуктивность контура, что и делается для сопряжения входного контура на ферритовом стержне с гетеродинным контуром во многих промышленных малогабаритных транзисторных приемниках.

Из рис.17 видно, что наибольшую индуктивность будет иметь система, где катушка равномерно распределена по ферритовому стержню. Исходя из этого, для работы на КВ (примерно до 7-10 МГц) можно попытаться использовать ферритовый стержень даже проницаемостью 600-400. Это может выручить тех, кто не имеет возможности достать ферриты с проницаемостью 100. Провод для ферритовых антенн лучше использовать многожильный, с большим количеством жил. Общий диаметр этого провода для СВ и ДВ может быть до 0,5 мм, для КВ - до 1 мм.

При использовании магнитных ферритовых антенн (рис.17а,17б) катушку связи можно располагать на одном из ее концов, при

использовании же антенны (рис.17в) катушку связи можно располагать сверху основной катушки в любом ее месте. В любом случае предпочтительно использовать усилители с симметричным входом.

10. Коэффициент полезного действия магнитных рамочных антенн.

Как известно, КПД передающей антенны равен:

КПД = $P_а / P_{тх}$,

где $P_а$ - полная мощность, излучаемая антенной, а $P_{тх}$ - полная мощность, подводимая к антенне от передатчика.

Очевидно, что КПД антенны никогда не будет выше 100 % и $P_а < P_{тх}$. Также очевидно, и что $P_{тх} = P_а + P_п$, где $P_а$ – полная мощность, излучаемая антенной, $P_п$ – мощность потерь.

И в этом случае

КПД = $P_а / (P_а + P_п)$

На самом деле определение излучаемой антенной мощности является очень сложной задачей, требующей применения мощного математического аппарата и точных приборов. Поэтому, чтобы упростить задачу, будем считать, что вся мощность, которая подводится к оптимально, согласованной, антенне, излучается, то есть преобразование подводимого высокочастотного напряжения в электромагнитную волну антенной равно 100 %.

Потери энергии в этом случае могут быть только в кабеле при неидеальном согласовании антенны с кабелем. КПД в этом случае будет равен

КПД = $P_а / (P_а + P_{пк})$,

где $P_{пк}$ - мощность потерь в кабеле. При хорошо согласованной с кабелем антенне КПД может составлять величину до 98 %. Именно такие цифры были приведены для антенны DK5CZ в (9). Нужно понимать, что это значение дается фирмой-производителем в рекламных целях и далеко от реального положения дел. Проведя несложные преобразования, КПД можно определить как:

КПД= $R_а / (R_а + R_п)$,

где $R_а$ – сопротивление излучения антенны, а $R_п$ – сопротивление потерь.

В случае использования магнитных рамок, сопротивление потерь может быть относительно большой величиной.

Сопротивление излучения магнитной настроенной рамки примерно равно характеристическому сопротивлению контура $R_п = \sqrt{L / C}$

Практически можно определить индуктивность и добротность рамки из соотношений:

$Q = \omega L / R_п$ и $Q = R_и / R_п$ и определить сопротивление потерь рамки и ее общую емкость. Эти величины очень важны для расчета КПД антенной системы.

Возьмем очень хороший случай, когда используется высококачественный конденсатор и высококачественная медная трубка. В этом случае сопротивление потерь этих элементов будет мало в сравнении с сопротивлением излучения рамки. Очевидно, что КПД в этом случае

$КПД = R_и \times K / (R_и + R_к + R_р)$

где $R_и$ - расчетное идеальное сопротивление излучения рамки,

$R_к$ - сопротивление потерь в конденсаторе,

$R_р$ - сопротивление потерь в рамке,

K - КПД согласующего устройства.

Расчетное значение КПД для этого случая равно около 45 % и не превышает КПД согласующего устройства. Однако, и это значение КПД не так уж плохо. Не следует забывать, что он выше, чем у штыря с 3 противовесами, к тому же рамочная антенна обладает направленностью, что позволяет радиолюбителю более полно использовать ее возможности.

КПД приемной антенны равен отношению мощности отдаваемой антенной в нагрузку к мощности, которую она отдавала бы в нагрузку, если бы не имела потерь. Потери же в приемной антенне велики, т.к. обычно используется тонкий провод, конденсатор с трущимися контактами, часто с твердым диэлектриком и к согласованию с нагрузкой не относятся так серьезно, как в передающих антеннах.

Можно предположить, что КПД в этом случае будет в пределах долей процента. Но за счет усиления приемника и направленных свойств эти антенны обеспечивают удовлетворительный прием.

11. Расположение магнитной антенны в пространстве относительно других предметов.

Как уже отмечалось выше, магнитные антенны реагируют на магнитную составляющую электромагнитной волны. Это позволяет размещать магнитные антенны даже внутри железобетонных зданий. Но

конечно, лучшим вариантом их размещения будет свободное пространство. Оно позволит избежать промышленных помех и позволит полностью реализовать направленные свойства магнитных антенн.

Что касается передающих антенн, то при их размещении есть свои особенности. За счет излучения сильного магнитного поля, такие антенны дают наводку на магнитные головки магнитофонов и проигрывателей, на катушки индуктивности различных устройств. Это может создать сильные помехи для телевидения и радиоприема, причем помеха не исчезает при отсоединении антенны от этих устройств, но за счет изменения направления излучения магнитной антенны и, может быть, за счет изменения пространственного расположения самих устройств, подвергающихся наводкам, может быть существенно уменьшена.

При размещении антенны на балконе, рядом с проводящими предметами, диаграмма направленности антенны исказится, но с этими искажениями можно вполне смириться.

На крыше требуется весьма мало места для размещения магнитной передающей антенны. Рядом с ней могут быть любые предметы и любые антенны – они окажут мало влияния на ее работу, и в то же время будут мало подвержены влиянию со стороны магнитной антенны. Это одно из самых главных преимуществ магнитных антенн над всеми остальными.

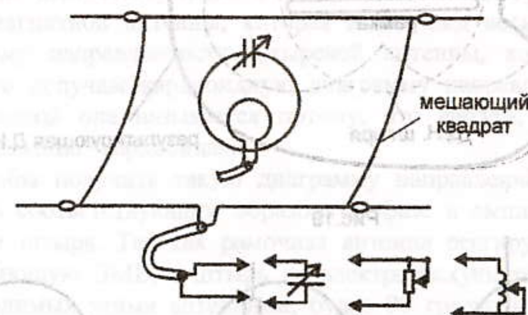


Рис.18 способы устранения влияния квадрата на магнитную рамку

Но есть случай, когда характеристики антенны могут серьезно исказиться – если магнитная антенна находится внутри дельты или другой петлевой антенны (рис.18). Характеристики же самой наружной антенны при этом не изменяются. Для компенсации влияния наружной

антенны на внутреннюю, к концу коаксиального кабеля, идущего от этой внешней антенны, погружают переменный конденсатор емкостью до 400 пФ, переменную индуктивность 10-200 мкГн или переменное сопротивление 200-300 Ом (рис.18).

Возможна комбинация нагрузки из этих элементов. Обычно при этом удается добиться того, что наружная антенна не влияет на внутреннюю.

12. Воздействие атмосферного электричества и осадков на магнитную антенну.

Вследствие того, что рамка и питающий коаксиал заземлены, магнитная антенна не подвержена помехам со стороны статического электричества. Это позволяет использовать её в предгрозовой период . Так как магнитная антенна обычно расположена ниже других антенн, то попадание молнии в неё очень и очень маловероятно. Вследствие избирательности по направлению и резонансных свойств магнитная антенна подвержена грозовым помехам гораздо меньше, чем любая другая антенна. Это позволяет вести работу на нее даже во время грозы, когда на другие антенны прием из-за QRM практически уже не возможен. В целом же магнитная антенна является самой безопасной из всех антенн при работе во время грозы.



Рис.19

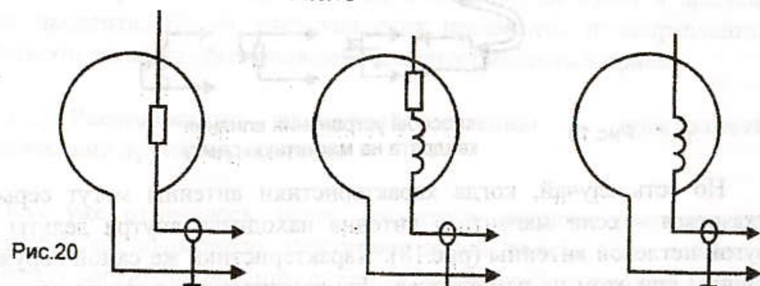


Рис.20

Необходимо тщательно защищать излучающую поверхность рамки от воздействий осадков, которые могут «съесть» тонкий зеркальный поверхностный слой. Это можно сделать с помощью радиокраски.

Необходимо принять меры по защите переменного конденсатора и по защите согласующего устройства. На конденсаторе будет высокое напряжение, а через согласующее устройство будут протекать значительные токи, поэтому недопустимо попадание влаги на них. Коронные и поверхностные разряды могут испортить конденсатор и согласующее устройство.

Вследствие своих малых размеров магнитная антенна может быть размещена даже под навесом или полностью в диэлектрическом экране для защиты ее от воздействия осадков.

13. Магнитные антенны с кардиоидной диаграммой направленности.

Если соответствующим образом сложить диаграмму направленности магнитной антенны, которая имеет вид восьмерки (рис.19) и диаграмму направленности штыревой антенны, которая имеет вид круга, то получим кардиоидную диаграмму направленности (рис.19). Кардиоидной она называется потому, что фигура, образованная ей носит название «кардиоида».

Чтобы получить такую диаграмму направленности, необходимо сложить соответствующим образом по фазе и амплитуде сигналы от рамки и штыря. Так как рамочная антенна реагирует на магнитную составляющую ЭМВ, а штырь на электрическую, то сдвиг фаз ЭДС, производимых этими антеннами, будет 90 градусов. Это объясняется тем, что сдвиг фаз между магнитным и электрическим векторами ЭМВ составляет 90 градусов. Для кардиоидной диаграммы направленности необходимо, чтобы фазы ЭДС от двух антенн совпадали. Для этого обычно включают в цепь штыря высокоомный резистор или индуктивность, или то и другое (рис.20)

Если осуществить переключение штыря, то мы сможем изменить

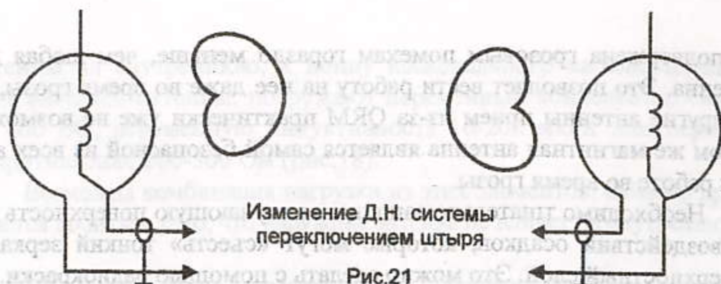


Рис.21

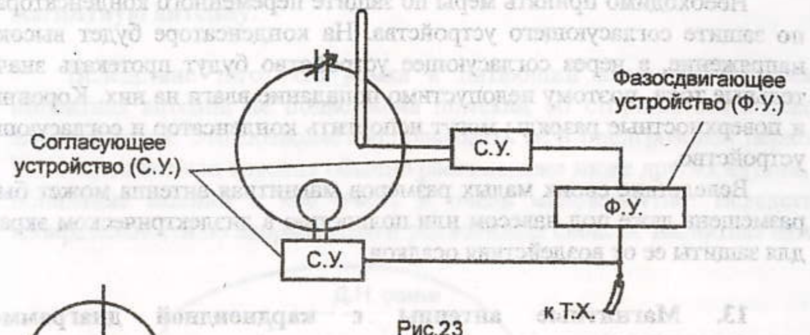


Рис.23

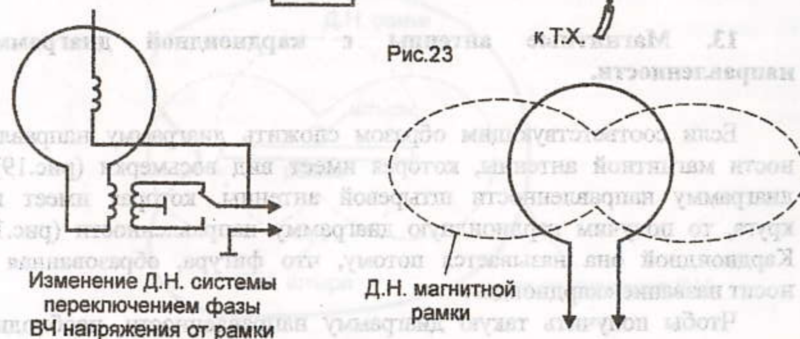


Рис.22

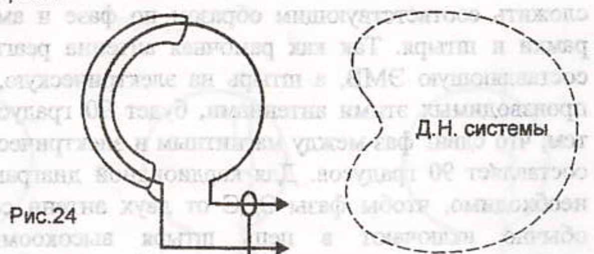


Рис.24

направление кардиоиды (рис.21). В некоторых случаях удобно переключать не штырь, а менять фазу ЭДС от магнитной антенны (рис.22). Такие кардиоидные антенны широко используются «лисоловами» для приема. Использование таких антенн на передачу хотя и сложно, но теоретически возможно. Для этого необходимо иметь согласованную рамку и согласованный штырь (рис.23). Штырь может быть выше диаметра рамки в 3-4 раза. При использовании устройств, согласующих малые сопротивления штыря и рамки с передатчиком, магнитные рамки получим сдвиг фаз ЭДС от штыря и рамки, который будет нам неизвестен. Вот почему фазосдвигающее устройство должно обеспечить регулировку фазы от 0 до 90 градусов.

Конечно, при создании такого устройства возникают проблемы по обеспечению как его широкополосности, так и, по возможности, его оперативной подстройки, т.к. сдвиг фаз рамки и штыря, который обеспечит их согласующие устройства, может меняться не только при смене диапазонов, но и внутри одного диапазона.

Есть еще один интересный способ получения кардиоидной диаграммы направленности. Выше было показано, за счет чего получается диаграмма направленности в виде восьмерки. Если же мы в неэкранированной рамочной антенне заэкранируем одну из ее половинок, то тем самым существенно ухудшим прием, идущий со стороны этой экранированной половинки (рис.24) и нарушим симметрию рамки. Такую приемную антенну можно выполнить из коаксиального кабеля со снятым экраном. При использовании ее на УКВ для повышения эффективности работы ее периметр может быть равен четверти длины волны.

При использовании такой антенны в качестве передающей, необходимо ее тщательное согласование с передатчиком.

14. Еще о магнитных антеннах.

Магнитные антенны часто используют для приема радиовещательных станций, но их можно использовать и при приеме телевидения. Для упрощения конструкции магнитной телевизионной антенны преобразуем классическую магнитную антенну (рис.25) в упрощенную.

Такую магнитную антенну можно выполнить из коаксиального кабеля любой марки. Периметр рамки L должен быть равен примерно 0,1 длины волны нижнего телевизионного канала, но при сильном

сигнале он может быть равен и 0,1 длины волны верхнего телевизионного канала.

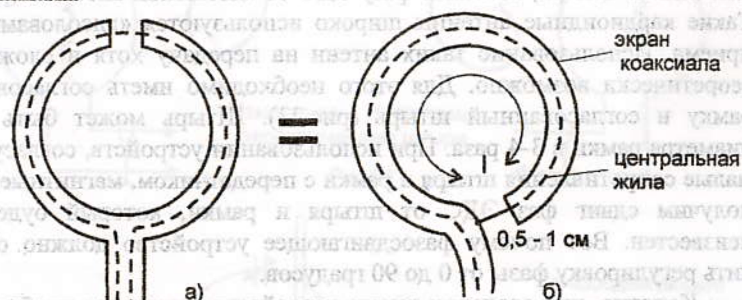


Рис.25

Такая магнитная антенна проигрывает по усилению традиционным телевизионным антеннам, но за счет того, что она реагирует только на магнитную составляющую, обеспечивает гораздо лучшее качество приема в городских условиях и работает в диапазоне частот начиная от нижнего, то есть антенна на 1 TV-канал будет принимать и остальные каналы как метровые так и дециметровые. Длина кабеля от антенны к телевизору некритична.

Кроме бесспорного преимущества – простоты – такая антенна имеет еще одно очень важное достоинство. На длинах волны ниже 0,1 длины ее периметра коэффициент усиления стремительно падает. Это позволяет при использовании приемной магнитной антенны избежать перегрузки телевизора от расположенной рядом или ведомственной, или любительской радиостанции.

Если использование магнитной антенны для цели устранения TVI затруднительно, например, она обеспечивает слабый уровень сигнала, то можно использовать фильтр, сделанный из двух таких антенн (рис.26).

Такой фильтр незначительно ослабляет частоты телевизионных каналов и не дает искажения TV-сигнала по сравнению с традиционными на LC-элементах. Конечно, он гораздо проще, чем LC-фильтр. Установить его можно как внутри телевизора, так и в тяжелых условиях приема и на приемной телевизионной антенне. При уверенном приеме телевидения после установки такого фильтра качество приема, несмотря на ослабление, вносимое фильтром, может даже возрасти за счет уменьшения уровня приема отраженного сигнала.

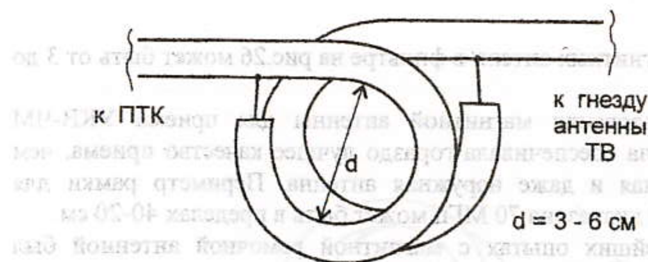


Рис. 26

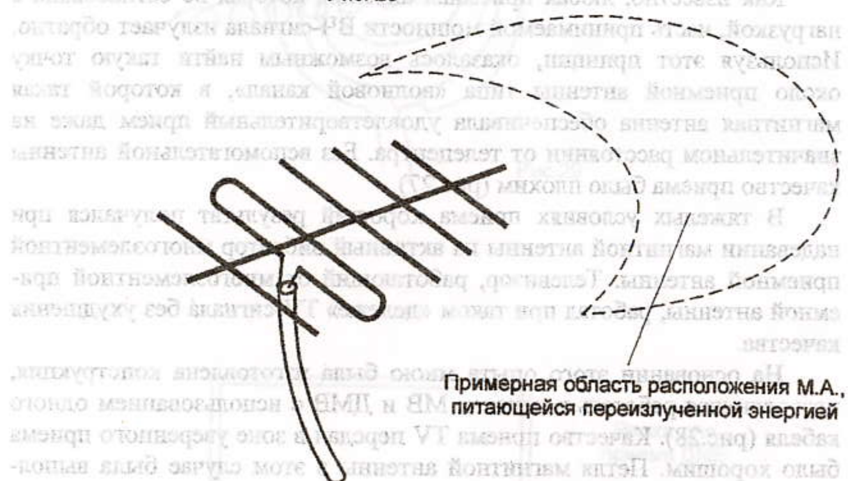


Рис.27

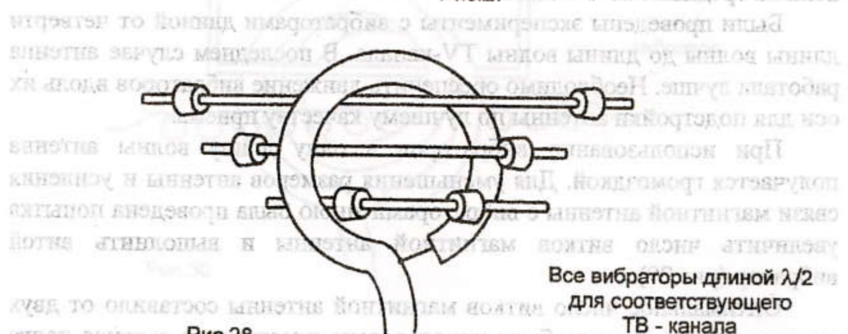


Рис.28

Диаметр магнитных антенн в фильтре на рис.26 может быть от 3 до 6 см.

При использовании магнитной антенны для приема УКВ-ЧМ оказалось, что она обеспечивала гораздо лучшее качество приема, чем любая суррогатная и даже наружная антенна. Периметр рамки для приема УКВ-ЧМ диапазона 70 МГц может быть в пределах 40-20 см.

При дальнейших опытах с магнитной рамочной антенной был получен еще один очень интересный результат.

Как известно, любая приемная антенна, которая не согласована с нагрузкой, часть принимаемой мощности ВЧ-сигнала излучает обратно. Используя этот принцип, оказалось возможным найти такую точку около приемной антенны типа «волновой канал», в которой такая магнитная антенна обеспечивала удовлетворительный прием даже на значительном расстоянии от телецентра. Без вспомогательной антенны качество приема было плохим (рис.27).

В тяжелых условиях приема хороший результат получался при надевании магнитной антенны на активный вибратор многоэлементной приемной антенны. Телевизор, работающий от многоэлементной приемной антенны, работал при таком «дележе» TV-сигнала без ухудшения качества.

На основании этого опыта мною была изготовлена конструкция, позволяющая работать в каналах МВ и ДМВ с использованием одного кабеля (рис.28). Качество приема TV передач в зоне уверенного приема было хорошим. Петля магнитной антенны в этом случае была выполнена на средний МВ TV-канал.

Были проведены эксперименты с вибраторами длиной от четверти длины волны до длины волны TV-канала. В последнем случае антенна работала лучше. Необходимо обеспечить движение вибраторов вдоль их оси для подстройки антенны по лучшему качеству приема.

При использовании вибраторов в одну длину волны антенна получается громоздкой. Для уменьшения размеров антенны и усиления связи магнитной антенны с вибраторами мною была проведена попытка увеличить число витков магнитной антенны и выполнить витой вибратор (рис.29).

Оптимальное число витков магнитной антенны составило от двух до трех. Для вибратора была использована пластиковая лыжная палка диаметром 14 мм, на которой был намотан медный провод диаметром 2 мм и начальной длиной, равной длине TV-канала. Настройка

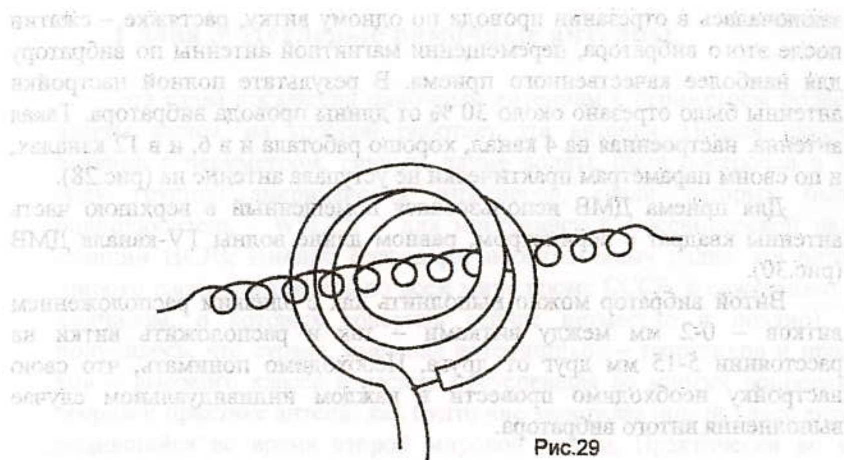


Рис.29

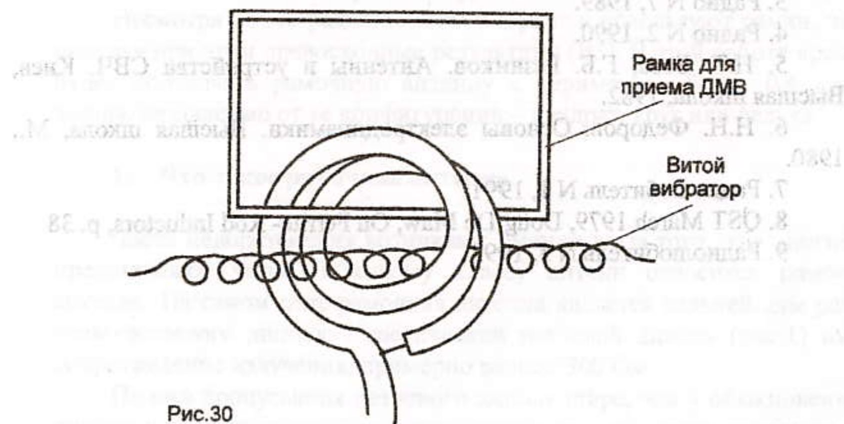


Рис.30

заключалась в отрезании провода по одному витку, растяжке – сжатии после этого вибратора, перемещении магнитной антенны по вибратору для наиболее качественного приема. В результате полной настройки антенны было отрезано около 30 % от длины провода вибратора. Такая антенна, настроенная на 4 канал, хорошо работала и в 6, и в 12 каналах, и по своим параметрам практически не уступала антенне на (рис.28).

Для приема ДМВ использовался помещенный в верхнюю часть антенны квадрат с периметром, равном длине волны TV-канала ДМВ (рис.30).

Витой вибратор можно выполнить как с близким расположением витков – 0-2 мм между витками – так и расположить витки на расстоянии 5-15 мм друг от друга. Необходимо понимать, что свою настройку необходимо провести в каждом индивидуальном случае выполнения витого вибратора.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Н.А. Коганович. Радиооборудование самолетов. Оборониздат М., 1962.
2. Г.Б. Белоцерковский. Основы радиотехники и антенны. РиС., М., 1983.
3. Радио N 7, 1989.
4. Радио N 2, 1990.
5. Н.Т. Бова, Г.Б. Резников. Антенны и устройства СВЧ. Киев, Высшая школа, 1982.
6. Н.Н. Федоров. Основы электродинамики. Высшая школа, М., 1980.
7. Радиолюбитель N 1, 1991.
8. QST March 1979, Doug De Maw, On Ferrite- Rod Inductors, p. 38.
9. Радиолюбитель N 5, 1992.

Глава 3. Петлевые рамочные антенны.

Эта глава посвящена рамочным антеннам с периметром более 0,4 длины волны, на которой работает эта антенна. Первая рамочная антенна с периметром, равным длине волны, была построена в 1942 году группой американских инженеров, среди которых был и радиолюбитель – W9LZX – для мексиканской миссионерской радиостанции HCJB. Именно благодаря любительскому радио эта антенна широко распространилась во всем мире кроме СССР, к сожалению, (по причинам, о которых говорить сейчас неуместно и поздно). Так получилось, что страна, имевшая антеннщиков – теоретиков и практиков – высокого класса и весьма преуспевшая во многих вопросах по теории и практике антенн, как будто «не заметила» новый класс антенн, родившийся во время второй мировой войны. Практически во всей специальной литературе отсутствуют сведения о рамочных петлевых антеннах. Не было опубликовано и работ с достаточно четким теоретическим и практическим материалом о них. Из-за этого даже специалисты в области антенн в нашей стране часто не могут найти общий язык при разговоре о рамочных антеннах. Скуден запас знаний и среднего радиолюбителя, который базируется в основном на В1, В2, В3, В4.

Несмотря на это радиолюбители строят и используют рамки, часто получая при этом превосходные результаты (В3). В этой работе «рамка» будет обозначать рамочную антенну с периметром более 0,4 длины волны, независимо от ее конфигурации – квадрат, круг или дельта.

1. Что такое рамочная антенна.

Часто недоразумения возникают именно из-за того, что многие не представляют четко, к какому классу антенн относится рамочная антенна. На самом деле рамочная антенна является дальнейшим развитием петлевого диполя. Классический петлевой диполь (рис.1) имеет сопротивление излучения, примерно равное 300 Ом.

Полоса пропускания петлевого диполя шире, чем у обыкновенного диполя в несколько раз. Это несомненное преимущество петлевого диполя над обычным, в то же время главный недостаток – высокое входное сопротивление. Но если «растянуть» петлевой диполь, то получим классическую рамочную антенну-квадрат (рис.2).

Рамочная антенна охватывает большее пространство, чем петлевой

диполь, в результате этого она имеет коэффициент усиления больше, чем коэффициент усиления простого и петлевого диполя. Рамочная антенна, как и петлевой диполь, симметричная антенна, поэтому для правильного ее питания необходимо использовать симметрирующее устройство. Рамочная антенна, как и все дипольные антенны, не нуждается в «земле». Так как рамка охватывает большее пространство, чем петлевой диполь, то входное сопротивление его ниже и составляет около 120 Ом.

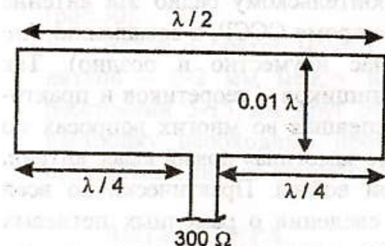


Рис.1

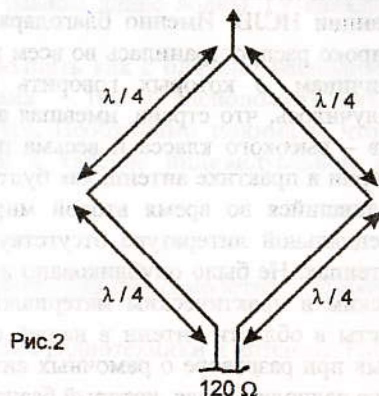


Рис.2

2. Входное сопротивление, КПД, коэффициент усиления и диаграмма направленности классической рамочной антенны.

Рассмотрим несколько типов рамочных антенн, расположенных вертикально в свободном пространстве (рис.3).

В этом случае их диаграмма направленности в горизонтальной плоскости практически совпадает с диаграммой направленности диполя, хотя и в вертикальной плоскости будет примерно в два раза уже, чем у него. За счет того, что часть антенны расположена вертикально, рамка излучает довольно большой уровень вертикально поляризованной волны. Диаграмма направленности рамочной антенны в вертикальной плоскости – овал, причем с небольшими максимумами, направленными к противоположным вертикальным сторонам. Этим объясняется то, что иногда лучше слышат, когда рамка направлена параллельно оси корреспондента, т.е. по минимуму горизонтально поляризованного излучения на него. В этом случае QSO проходит на вертикально поляризованной волне, которая к тому же часто имеет более пологий угол излучения, особенно в случае малых высот подвеса рамочной антенны.

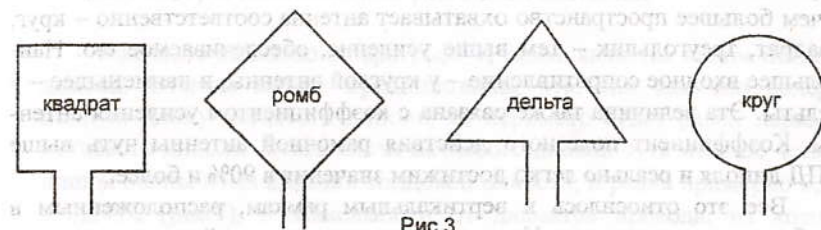


Рис.3

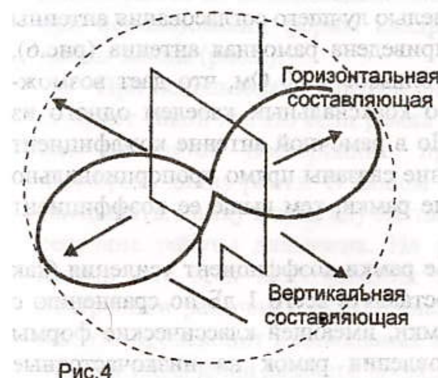


Рис.4

Вид рамки	Усиление относительно изотропного излучателя, дБ	Сопротивление излучения, Ом	Уровень вертикальной составляющей (О.И.), дБ
	3,14	117	-3,01
	3,49	133	-3,74
	3,14	117	-2,7
	2,82	106	-2,09

Рис.5

В работе (2.1) приведены расчеты входного сопротивления рамок различной конфигурации и их коэффициент усиления относительно диполя (рис.5). Эти данные получены теоретически, поэтому на практике возможны случаи расхождения практически полученных результатов. Из этой таблицы видно, что рамочная антенна любой конфигурации имеет коэффициент усиления выше, чем у диполя. Наибольший уровень вертикальной составляющей имеет антенна в форме дельты- это и понятно, т.к. у нее наибольшая длина вертикальной части антенны. Наибольшее усиление имеет круглая рамка, т.к. именно

круг охватывает наибольшее пространство. Здесь видна физика работы – чем большее пространство охватывает антенна соответственно – круг, квадрат, треугольник – тем выше усиление, обеспечиваемое ею. Наибольшее входное сопротивление – у круглой антенны, и наименьшее – у дельты. Эта величина также связана с коэффициентом усиления антенны. Коэффициент полезного действия рамочной антенны чуть выше КПД диполя и реально легко достижим значения в 90% и более.

Все это относилось к вертикальным рамкам, расположенным в свободном пространстве. Но уже при подвесе нижней части рамки на высоту не менее четверти длины волны, можно считать такую рамку идеальной и данные, приведенные здесь, верны для нее.

Но иногда можно встретить описания рамочных антенн, имеющих нетрадиционную конфигурацию с целью лучшего согласования антенны с фидером. Например, в Л. 2.2. приведена рамочная антенна (рис.6), имеющая входное сопротивление, близкое к 60 Ом, что дает возможность запитать ее непосредственно коаксиальным кабелем одного из двух номиналов – 75 или 50 Ом. Но в рамочной антенне коэффициент усиления и ее входное сопротивление связаны прямо пропорционально – чем выше входное сопротивление рамки, тем выше ее коэффициент усиления.

Для приведенной в этой статье рамки коэффициент усиления (как указано в этой же статье) будет составлять всего 1 дБ по сравнению с диполем. Это меньше, чем для рамки, имеющей классические формы (рис.5). Но, конечно, при изготовлении рамок на низкочастотные диапазоны и при наличии невысоких опор для установки антенны, данные о таких типах рамок могут быть весьма полезными.

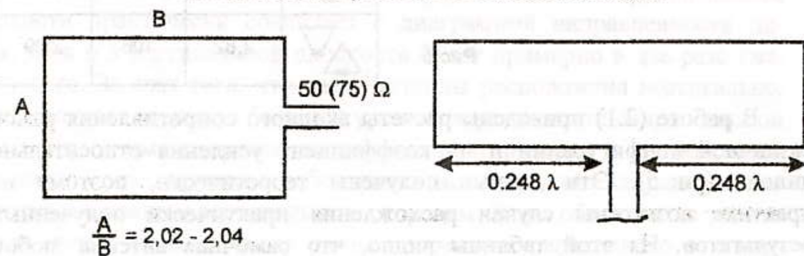


Рис.6 Рис.7

3. Размеры классической рамочной антенны.

Как было показано в параграфе 1, рамка является видом петлевого диполя. Отсюда можно предположить, что, так как она содержит полную длину петлевого диполя, ее периметр будет равен периметру петлевого диполя. Длина плеча петлевого диполя чуть меньше четверти длины волны из-за влияния концевой емкости, и равна примерно 0,248λ - 0,249λ (рис.7), в зависимости от диаметра провода, из которого выполнен диполь.

В рамочной антенне влияние концевых емкостей отсутствует (из-за отсутствия концов). Здесь наблюдается эффект уменьшения физической длины рамки из-за взаимодействия излучающих сторон. В этом случае, при использовании формы квадрата, длина рамки равна 1,01 - 1,02 длины волны (рис.8).

При использовании другой фигуры построения рамки общая длина ее будет такой же. Но если рамка размещена на малой высоте, и около нее находятся посторонние предметы, то, возможно, придется подобрать длину рамки. В любом случае ее длину необходимо немного уменьшать. Рамку в этом случае также настраивают по минимуму КСВ в середине работы диапазона. На рис.9 приведены размеры рамочных антенн для всех любительских КВ- и части УКВ-диапазонов. При построении рамочных антенн диаметр провода не влияет на ее длину, как это происходит в дипольных антеннах. Здесь больше выражено то, что при увеличении диаметра провода возрастает широкополосность антенны. Уже при диаметре провода 1-2 мм рамочная антенна, выполненная из него, перекрывает любой любительский диапазон от 1,8 до 144 МГц, и дальнейшее увеличение диаметра провода ее полотна приводит только к увеличению веса и механической прочности антенны и лишь немного увеличивает ее КПД. Конечно, в случае использования толстого провода можно подходить к проблеме согласования менее тщательно, меньше будет проявляться и влияние посторонних предметов на рамку.

Именно из-за использования разных диаметров провода, высот подвеса и формы рамки происходят различия в данных о параметрах рамки, приводимые различными радиолюбителями – входном сопротивлении, а, следовательно, и питании и согласовании, рабочем диапазоне частот и усилении рамки. Но оптимум будет при круглой рамке с периметром 1,01-1,02 длины волны, подвешенной вертикально на высоту не ниже четверти длины волны.

Диапазон, м	160	80	40	30	20	17	15	12	11	10	6	2
Частота, Мгц	1,89	3,6	7,05	10,12	14,2	18,1	21,2	24,9	27	28,5	51	145
Длина рамки, м	162	84,6	43,2	30	21,4	16,8	14,36	12,2	11,3	10,7	5,97	2,1

Рис.9

При построении рамочной антенны важно знать, что точка, лежащая напротив точек питания (рис.10) имеет нулевой потенциал.

Это может быть очень полезно при построении рамочных антенн – например, можно заземлить полотно антенны на мачту или на траверсу (рис.10).

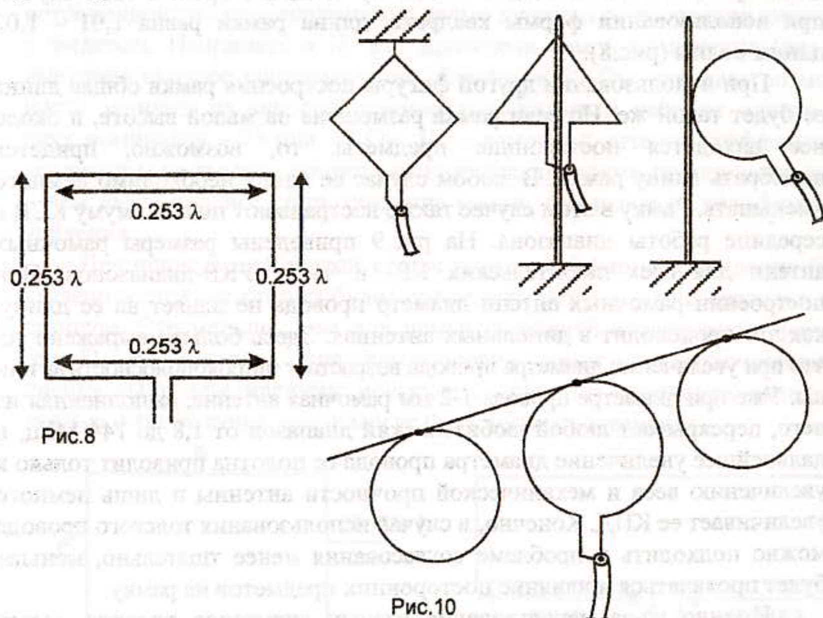


Рис.8

Рис.10

Такое заземление значительно обезопасит работу в предгрозовой период, а также уберет электростатический потенциал с антенны, да и просто может быть удобным при ее построении. Если заземление центра полотна антенны сделано, ее необходимо питать только через симметрирующее устройство. Питание ее без симметрирующего устройства может снизить коэффициент усиления на 0,5-1,5 дБ,

особенно это относится к рамкам, выполненным на низкочастотные диапазоны, где различные рассимметрирующие влияния наиболее велики.

Формула для расчета периметра рамочной антенны приведена ниже.

L= 300 K/F

где L - длина рамки в метрах;

F - частота в МГц;

K - коэффициент удлинения.

Он равен примерно 1,01 в случае использования толстого провода – 3 мм и более – и 1,02 в случае использования провода диаметром менее 2-1 мм.

4. Работа рамки, периметром, значительно большим длины волны.



$L_P = \lambda / 4$; $L_P = 5/4\ \lambda$; $L_P = 3/4\ \lambda$

или резонансный периметр

$П_P = \lambda,\ 3\lambda,\ 5\lambda,\ 7\lambda,\ 9\lambda,\ 11\lambda,\ 13\lambda$

Рис.11

Основной резонанс λ, m	Длины рамок гармониковых (n) резонансов, м					
	3	5	7	9	11	13
6	18	30	42	54	66	78
10	30	50	70	90	110	130
12	36	60	84	108	132	156
15	45	75	105	135	165	
17	51	85	119	153		
20	60	100	140	180		
30	90	150	180			
40	120	200	280			

Рис.12

Бытует версия, что чем больше периметр рамки, тем больший рабочий диапазон она может охватить. К сожалению, это не так.

Рамочная антенна - это резонансная антенна, и она может эффективно работать только в резонансном диапазоне частот.

На рис.11 показаны частоты резонанса у петлевого диполя (л. 4.1) и, соответственно, у рамочной антенны и приведена таблица резонансных частот рамок различной длины (рис.12). Хотя теоретически усиление длинной резонансной рамки выше, чем короткой, реализовать его без настройки длинной рамки в резонанс, и затем согласования ее с линией питания невозможно. Из этой таблицы видно, что можно ожидать от рамки, работающей на конкретном диапазоне. Ни одна из рамок не может обеспечить удовлетворительной многодиапазонной работы в нескольких любительских диапазонах, так как рамка не будет в них резонансной. Но при использовании тюнера (л.4.2.), конечно, можно осуществить согласование и обеспечить удовлетворительную работу антенной системы во всех диапазонах, лежащих выше длины волны, на которую настроена рамка. Нельзя здесь не отметить классическое согласование рамки для многодиапазонной работы, предложенное в (л.4.3.). Более просто и красиво трудно придумать (рис.13). Здесь согласование рамки происходит за счет индуктивности, включенной симметрично по обеим сторонам рамки. Эта индуктивность обеспечивает распределение тока в антенне таким образом, что рамка резонирует кроме 160 метров еще и на 80, 40, 20, 15 и 10 метров.

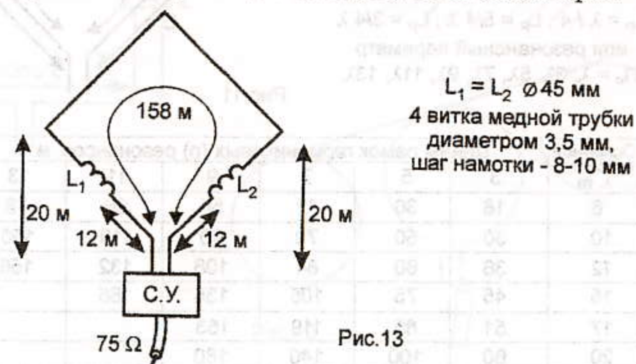


Рис.13

Настройка системы в данном случае заключается лишь в настройке рамки в резонанс на 160 метров и небольшой подстройки индуктивностей для достижения резонанса в других диапазонах. Без этих индуктивностей антенна строится только на 160 метров. Но все же для обеспечения удовлетворительной работы необходимо использовать

свою рамку для каждого диапазона. Использование рамочной антенны с согласованием на высших диапазонах можно рассматривать лишь как вспомогательный вариант антенны.

То же самое относится и к антеннам типа Lazy Delta (ленивая дельта), которая из-за выбора геометрии построения и, следовательно, нечетных резонансов, может обеспечить неплохое согласование в нескольких любительских диапазонах, но все равно эти диапазоны не будут для нее чисто резонансными, а, следовательно, и нельзя ожидать эффективной работы на них.

Диаграмма направленности рамки на гармониках будет примерно совпадать с диаграммой направленности рамки на основной ее рабочей частоте, но уровень вертикальных лепестков будет больше, расположены они будут положе, чем в основной диаграмме направленности, и общая диаграмма направленности в горизонтальной и вертикальной плоскости будет разбита на более мелкие лепестки.

5. Питание рамочных антенн.

Правильное питание любой антенны является необходимым для ее эффективной работы. В случае использования рамочной антенны следует помнить, что это симметричная антенна, и, следовательно, она требует использования симметрирующего устройства для ее питания. Без симметрирующего устройства возможно рассимметрирование, т.е. будет наводка переотраженной от различных предметов электромагнитной волны на внешнюю оболочку коаксиального кабеля, затем попадание этой переотраженной энергии в антенну (рис.14).

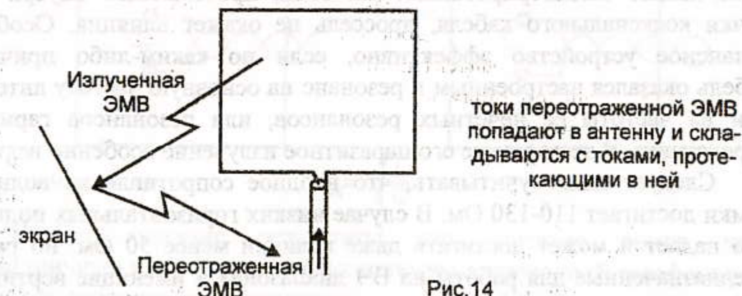


Рис.14

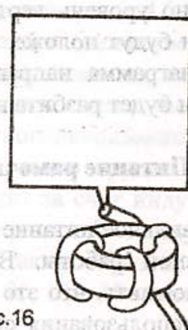
В этом случае токи, наведенные на внешней оболочке, попадая в антенну, складываются с токами, возбуждаемыми передатчиком, что

приведет к увеличению КСВ и возникновению дополнительных помех, т.к. в этом случае и оболочка кабеля будет излучать. Этот эффект приведет к тому, что во время приема коаксиальный кабель будет обладать «антенным» эффектом, т.е. энергия радиоволн, наведенная на внешней оболочке, попадает на вход приемника.

Простейшее симметрирующее устройство – это 2 (на 28 МГц) - 10 (на 1,8 МГц) витков коаксиала на достаточно большом ферритовом кольце (проницаемость не играет роли), например, от отклоняющей системы телевизоров, или 10 (на 28 МГц) - 30 (на 1,8 МГц) витков коаксиала на пластиковой бутылке из-под шампуня (рис.15, 16).



Рис.15


Рис.16

В этом случае этот ВЧ дроссель не пропустит ВЧ энергию, наведенную на внешней оболочке коаксиала в антенну и обратно, что равносильно симметрированию. На токи, протекающие внутри оболочки коаксиального кабеля, дроссель не окажет влияния. Особенно балансное устройство эффективно, если по каким-либо причинам кабель оказался настроенным в резонанс на основную частоту антенны, или на частоты ее нечетных резонансов, или резонансов гармоник передатчика. В этом случае его паразитное излучение особенно велико.

Следует также учитывать, что входное сопротивление волновой рамки достигает 110-130 Ом. В случае низких горизонтальных подвесов оно падает и может достигать даже величин менее 50 Ом, но рамки, предназначенные для работы на ВЧ диапазонах и имеющие вертикальный подвес, все же имеют высокое входное сопротивление. Очевидный способ согласования в этом случае – это использование четвертьволнового трансформатора (рис.17).

В случае использования 75-омного кабеля для четвертьволнового трансформатора (не забывайте о коэффициенте укорочения 0,66-0,68, в зависимости от типа пластиковой изоляции кабеля) и 50-омного кабеля для линии передачи получим очень хорошее согласование рамочной антенны. Длина кабеля, которая использована для симметрирующего устройства, также включается в длину четвертьволнового трансформатора (рис.18).

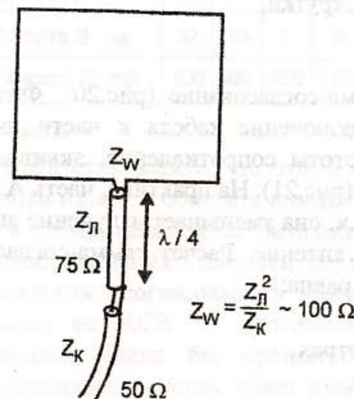


Рис.17

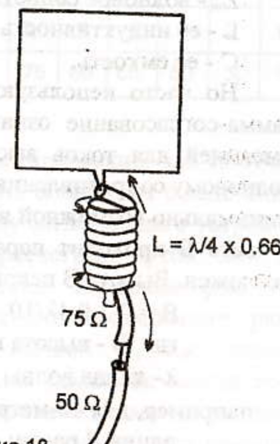


Рис.18

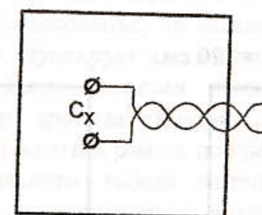
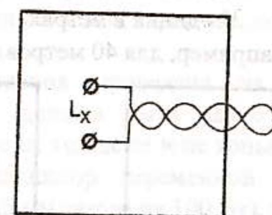


Рис.19



$$Z_W = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Иногда хорошие результаты дает питание рамки через симметричную пару-скрутку, используемую в проводной телефонии. Ее волновое сопротивление лежит в пределах 60-130 Ом и очень хорошо подходит для питания рамки. Волновое сопротивление скрутки можно определить практически, если имеются приборы, измеряющие индук-

тивность и емкость. Для этого кусок скрутки, безразлично какой длины (но лучше 2-3 метра), подключается к измерительному прибору. Сначала ее конец размыкают и меряют емкость, затем замыкают и меряют индуктивность (рис.19).

Волновое сопротивление рассчитывается по известной формуле:

$Z_w = \sqrt{L / C}$, где

Z_w - волновое сопротивление скрутки,

L - ее индуктивность,

C - ее емкость.

Но часто используют и гамма-согласование (рис.20). Физически гамма-согласование означает подключение кабеля к части антенны, имеющей для токов высокой частоты сопротивление, эквивалентное волновому сопротивлению кабеля (рис.21). На практике, часть А делают минимально возможной высоты, т.к. она уменьшает излучение антенны, а часть Б проходит параллельно антенне. Расчет гамма-согласования несложен. Высота В некритична и равна:

$B = 0{,}2\text{-}0{,}4\lambda/10$

где В - высота в сантиметрах,

λ- длина волны в метрах,

например, для 40-метрового диапазона В = (2 – 4) × 40/10 = 8 – 16 см,

длина Д равна:

Д = 3 λ

где Д - длина в сантиметрах,

λ- длина волны в метрах,

например, для 40 метров Д =3 × 40 = 120 см.

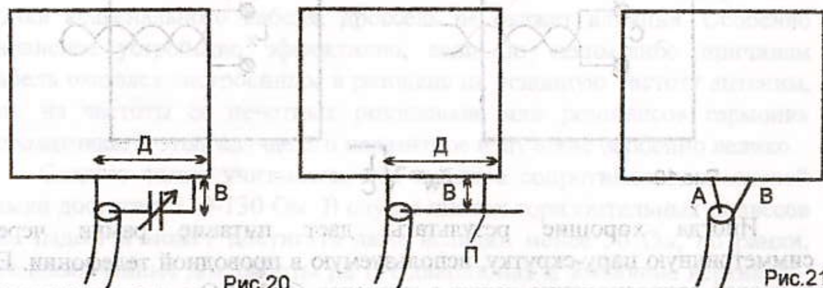


Рис.20 Рис.21

Величина максимальной емкости подстроечного конденсатора определяется по формуле:

C = 5λ,

где С - емкость конденсатора в пФ,

λ - длина волны в метрах,

например, для 40 метрового диапазона С = 5 × 40 = 200 пФ.

Диапазон, м	160	80	40	30	20	17	15	12	11	10	6	2
Длина Д, см	480	240	120	90	60	51	45	36	33	30	18	6
Высота В, см	32	16	8	6	4	3,6	3,6	3	3	3	2	1
Емкость С, пф	800	400	200	150	100	85	75	60	55	50	30	10

Рис.22

Следует заметить, что эти формулы эмпирические, т.е. получены опытным путем, и обратить внимание, что они оперируют с величинами длин в разных масштабах. На практике, длину согласующего устройства выбирают несколько длиннее полученной расчетным путем. Это дает возможность согласовывать питание рамки конденсатором, что улучшает ее КСВ. В противном же случае согласование рамки необходимо было бы производить перемычкой П, т.к. входное сопротивление, которое будет иметь реальная рамка, не всегда точно равно ее теоретическому значению. Использование гамма-согласования позволяет использовать цельные металлические рамки, что повышает их прочность и дает некоторые удобства установки, особенно при работе на УКВ. При гамма-согласовании уменьшаются и TVI, т.к. гамма-согласование, не являясь оптимальным для гармоник основного сигнала, шунтирует их на выходе кабеля.

Таблица величин гамма-согласования приведена на рис.22. Диаметр провода гамма-согласования должен быть вдвое меньше провода полотна рамки, по крайней мере не толще ее и не тоньше жилы коаксиального кабеля питания. Конденсатор переменной емкости желательно использовать воздушный (0,5 мм зазора на 100 Вт), хотя при мощностях до 100 Вт вполне подойдет и керамический. Необхо-димо принять меры по его влагоизоляции.

Желательно также использовать симметричное гамма-согласование и использовать симметрирующее устройство (рис.23).

Настройка гамма-согласования проста, на середине рабочего диапазона антенны с помощью конденсатора и, возможно, длины согласующего устройства добиваются минимума КСВ.

Как крайний вариант питания рамки можно рассмотреть ее питание по двухпроводной высокоомной линии – например, типа КАТВ или «лапша». Так как такая линия имеет волновое сопротивление 300 Ом для КАТВ и около 400-600 Ом для разных типов «лапши», то питание антенны будет осуществляться в режиме стоячей волны. Эти линии имеют высокий КПД в режиме стоячей волны и их можно использовать в этом режиме. Кроме работы на основной частоте и нечетных гармониках рамка с таким питанием может работать и на четных гармониках – т.е. рамку для 160 метров можно согласовать для работы во всех диапазонах. Но ее согласование с выходным каскадом передатчика не будет гарантией ее успешной работы, т.к. в этом случае рамка будет работать в нерезонансном режиме, а, следовательно, иметь низкий КПД. Но как вспомогательная антенна она вполне подойдет для повседневной работы.

В любом случае при использовании симметрирующих устройств с коаксиальным кабелем или при питании через симметричные линии, линия передачи должна быть перпендикулярна точкам питания рамки так долго, как это возможно.

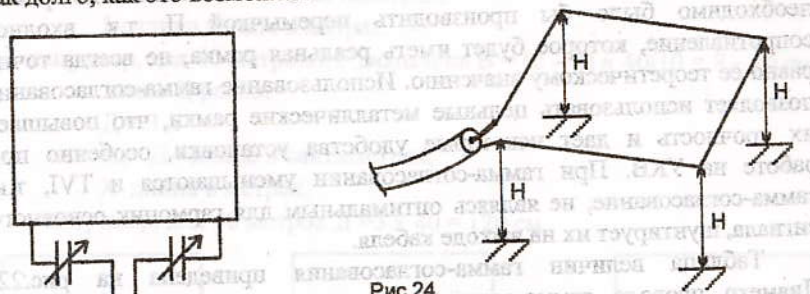


Рис.24

С.У.

Рис.23

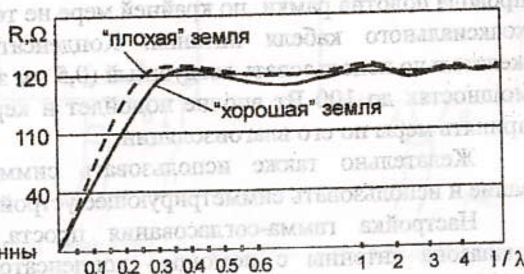


Рис.25 $R_{вх}$ рамочной антенны

6. Горизонтальные рамки.

При выполнении рамочных антенн на низкочастотные диапазоны они имеют обычно низкий подвес. Каковы параметры низковисящей рамки? (рис.24).

Прежде всего, следует учесть, что из-за влияния земли сопротивление рамки понижается. Рассчитанный мною график зависимости входного сопротивления квадрата от его высоты подвеса приведен на рис.25.

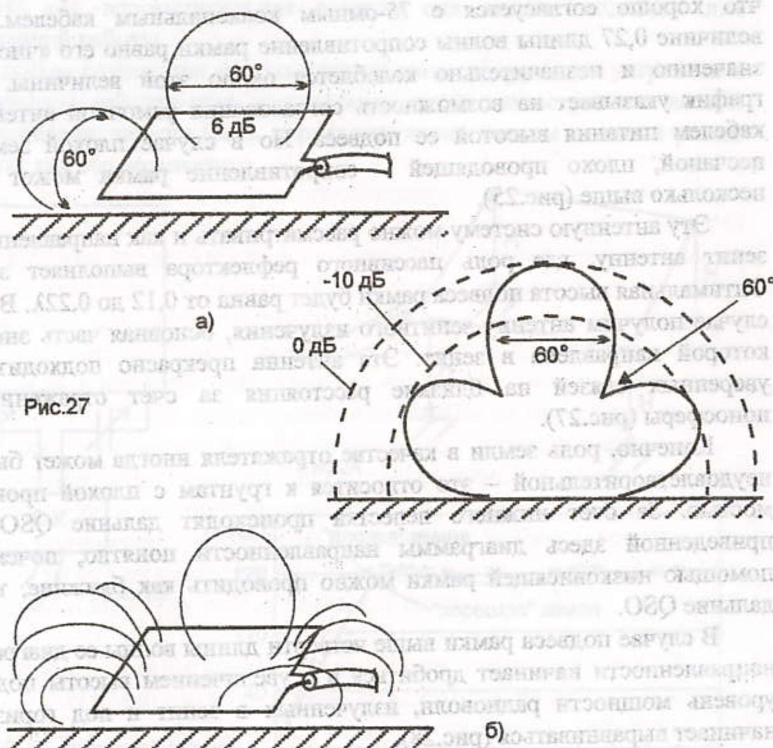
Здесь за «чистое» сопротивление рамки принята величина 130 Ом и предполагается, что рамка находится над идеальным экраном. В этом случае видно, что уже при высоте подвеса более 0,15 длины волны входное сопротивление антенны составляет величину, близкую к 75 Ом, что хорошо согласуется с 75-омным коаксиальным кабелем. При величине 0,27 длины волны сопротивление рамки равно его «чистому» значению и незначительно колеблется около этой величины. Этот график указывает на возможность согласования рамочной антенны с кабелем питания высотой ее подвеса. Но в случае плохой земли – песчаной, плохо проводящей – сопротивление рамки может быть несколько выше (рис.25).

Эту антенную систему можно рассматривать и как направленную в зенит антенну, где роль пассивного рефлектора выполняет земля. Оптимальная высота подвеса рамки будет равна от 0,12 до 0,22λ. В этом случае получим антенну зенитного излучения, основная часть энергии которой направлена в зенит. Эта антенна прекрасно подходит для уверенных связей на близкие расстояния за счет отражения от ионосферы (рис.27).

Конечно, роль земли в качестве отражателя иногда может быть и неудовлетворительной – это относится к грунтам с плохой проводимостью. За счет нижнего лепестка происходят дальние QSO. Из приведенной здесь диаграммы направленности понятно, почему с помощью низковисящей рамки можно проводить как ближние, так и дальние QSO.

В случае подвеса рамки выше четверти длины волны ее диаграмма направленности начинает дробиться и с увеличением высоты подвеса уровень мощности радиоволн, излученных в зенит и под горизонт, начинает выравниваться (рис.28).

В зависимости от высоты подвеса и проводимости почвы будет меняться дробление лепестков и соотношение мощностей, излучаемых в



зенит и под горизонт. Отсюда следует, что рамка с подвесом более четверти длины волны должна превосходно работать как при ближних, так и при дальних связях. Питать такую рамку следует согласно рекомендациям из главы 5.

При работе волновой рамки на ее четных и нечетных гармониках при определении величины лепестков диаграммы направленности, следует пользоваться значением длины волны гармоники рамки, для нахождения относительной высоты подвеса рамки.

Низкая рамочная антенна имеет перед диполем то преимущество, что ее входное сопротивление примерно в 3 раза выше, чем сопротивление диполя с длиной плеча в четверть волны на такой же высоте подвеса. Знание этого может быть особенно полезным для начинающих радиолюбителей, т.к. на 160 метров 0,1λ это уже 16 метров. Диполь на такой высоте имеет сопротивление около 20 Ом, а рамка - не менее 40 Ом, что уже гораздо лучше поддается согласованию. Например, мною при работе на рамку с периметром 40 метров, подвешенную на высоте 2 метра, были получены очень неплохие результаты при работе как на 40, так и на 80 и 20 метров. При использовании диполей для каждого из этих диапазонов, подвешенных на такой же высоте, сила сигнала падала на 6 и более децибел.

Очевидно, что низковисящие рамки могут быть использованы в горных походах (где трудно осуществить высокий подвес) или в иных стесненных обстоятельствах.

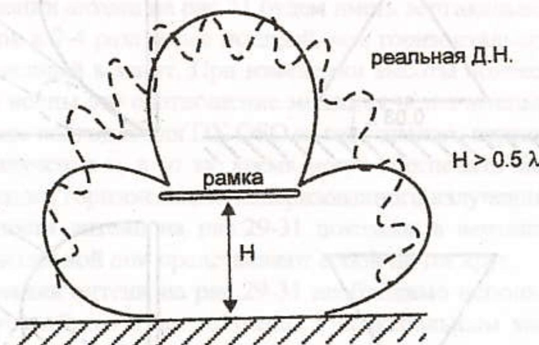
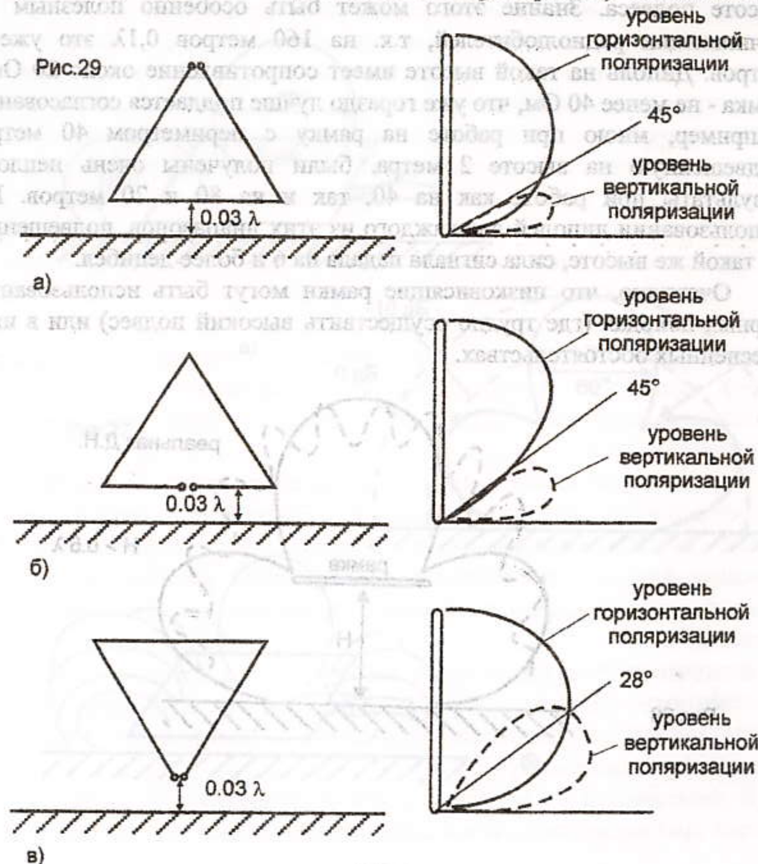


Рис.28

7. Вертикальные рамочные антенны.

Если в горизонтальных рамочных антеннах на их параметры не влияет геометрическая форма и способ запитки, то для вертикальных антенн это влияние проявляется. Но входное сопротивление вертикальных антенн будет не менее 70 Ом, независимо от способа питания при низких подвесах – начиная от высоты 0,03 длины волны. При высоте подвеса более 0,1 длины волны входное сопротивление рамки будет не менее 100 Ом и при 0,15-0,2λ достигает ее «чистой» величины (см. п.2). Диаграмма направленности вертикальной рамки имеет горизонтальную и вертикальную (за счет вертикальных сторон рамки) составляющие



излучения. Диаграммы направленности рамок различной формы приведены на рис.29.

При использовании верхнего питания низкой дельты основное излучение горизонтальной части за счет близости земли направлено в зенит (рис.29а).

Вертикальная составляющая излучения невелика и направлена примерно под углом 30° к горизонту. Очевидно, что эта антенна хорошо подходит как для близких местных за счет зенитного излучения, так и для дальних QSO - за счет излучения вертикальных сторон. При подвесе такой рамки на высоты более 0,25 λ горизонтальная составляющая излучения будет иметь максимум примерно под углом 40°, причем большая часть энергии также будет излучаться в зенит. Вертикальная составляющая излучения при этом практически не изменяется. Такая антенна будет эффектна для дальних QSO с горизонтальной и вертикальной поляризацией.

Такие же результаты будут и при питании дельты снизу в центре (рис.29б). В этом случае основная часть подводимой энергии будет идти на питание ее горизонтальной части. При использовании квадрата с центральным нижним питанием (рис.30) также получим большую величину зенитного излучения с горизонтальной поляризацией и малое излучение с вертикальной поляризацией. При подвесе квадрата на высоту более четверти длины волны максимум лепестка горизонтальной поляризацией опустится до 45°, уровень вертикальных лепестков не изменится.

При использовании антенн на рис.31 будем иметь вертикально поляризованный лепесток в 2-4 раза более мощный, чем горизонтально поляризованный направленный в зенит. При изменении высоты подвеса свыше четверти длины волны это соотношение меняется незначительно. Такие антенны наиболее подходят для DX QSO за счет низкого вертикально поляризованного излучения и, в то же время могут обеспечить местную работу за счет зенитного горизонтально поляризованного излучения. Диаграммы направленности антенн на рис.29-31 показаны в вертикальной плоскости, в горизонтальной они представляют собой почти круг.

При использовании антенн на рис.29-31 необходимо использовать симметрирующие устройства и согласование с коаксиальным кабелем, как это было описано ранее. Если симметрирование не производится, то подключение оплетки и центральной жилы кабеля для антенн на рис.31 показано на этом же рисунке. Для антенн на рис.29-30 подключение оплетки и центральной жилы значения не имеет.

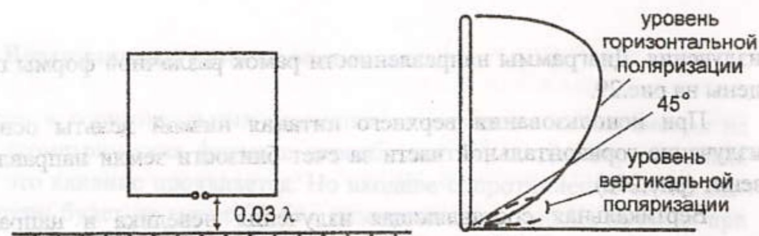


Рис.103

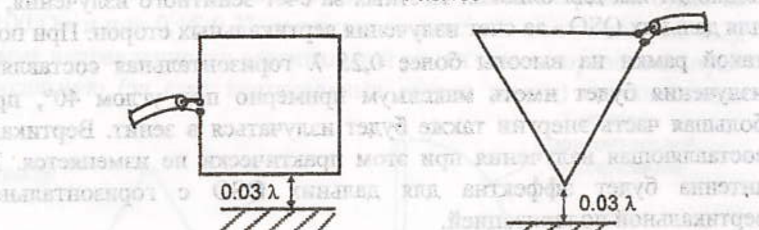


Рис.31

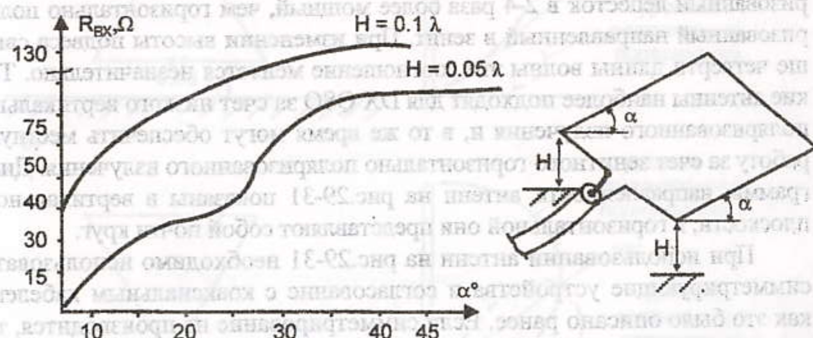


Рис.32

8. Наклонные рамки.

Во многих случаях радиолюбителю бывает удобно использовать не чисто горизонтальную или вертикальную рамку, а наклонную. Это может быть в случае ограниченной высоты мачты или иной опоры подвеса, а также по другим обстоятельствам.

Конструируя наклонную рамку, необходимо ориентировочно знать входное сопротивление рамки. График зависимости сопротивления от угла наклона приведен на рис.32.

Уже при угле наклона рамки с высотой подвеса 0,05 длины волны выше 30° входное сопротивление рамки составляет величину не менее 50 Ом, что согласуется с 50-омным коаксиалом. При угле наклона свыше 45° входное сопротивление не менее 75 Ом. При увеличении высоты подвеса сопротивление рамки резко возрастает, и при высоте подвеса свыше четверти длины волны составляет почти «чистое» сопротивление рамки.

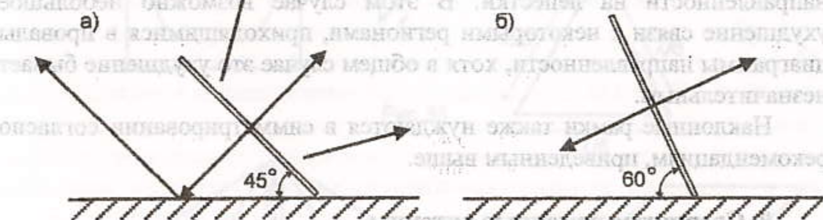


Рис.33

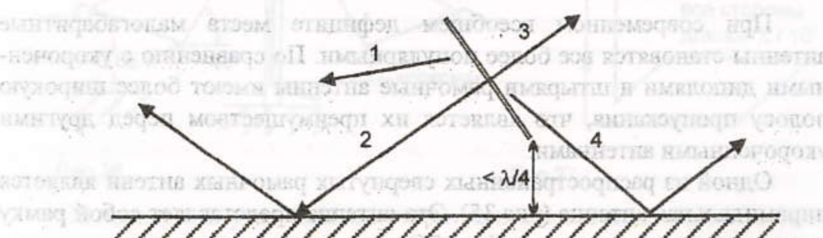


Рис.34

Диаграммы направленности наклонных низких рамок показаны на рис.34. При небольших наклонах (до 45°) электромагнитная волна излучается под углом к горизонту, что благоприятно проведению DX

QSO в этом направлении. В направлении, противоположном наклону, излучение рамки будет меньше из-за переотражения от земли. Вертикальная составляющая невелика и имеет почти круговую направленность. При увеличении угла наклона возрастает интенсивность вертикальной составляющей, и диаграмма направленности принимает вид, приведенный для диаграммы направленности вертикальных рамок в параграфе 7.

Несколько иную диаграмму направленности имеют наклонные рамки с высотой подвеса, большей четверти длины волны. Их диаграммы направленности будут примерно аналогичны диаграммам для вертикальных высоких рамок, но повернутых на соответствующий угол наклона.

В этом случае связь осуществляется по лучам 1 – 4 (рис.34). По лучу 1, который наклонен очень полого к горизонту, возможно проведение DX QSO. По лучам 3 и 4 возможно проведение дальних и ближних связей. Следует учесть, что при сложении прямого и отраженного луча (1-2 и 3-4) происходит дробление диаграммы направленности на лепестки. В этом случае возможно небольшое ухудшение связи с некоторыми регионами, приходящимися в провалы диаграммы направленности, хотя в общем случае это ухудшение бывает незначительным.

Наклонные рамки также нуждаются в симметрировании согласно рекомендациям, приведенным выше.

9. Свернутые рамочные антенны.

При современном всеобщем дефиците места малогабаритные антенны становятся все более популярными. По сравнению с укороченными диполями и штырями рамочные антенны имеют более широкую полосу пропускания, что является их преимуществом перед другими укороченными антеннами.

Одной из распространенных свернутых рамочных антенн является пирамидальная антенна (рис.35). Эта антенна представляет собой рамку с «вывернутыми» сторонами (рис.36).

Для ее подвеса используется одна мачта, на вершине которой крепятся концы треугольников полотна. Полотно антенны может служить растяжками мачты. Желательно, чтобы высота подвеса нижних сторон рамки была не менее 0,05 длины волны. Если при этом угол,

образованный сторонами рамки с землей, будет более 30°, то входное активное сопротивление этой рамки будет уже не менее 60 Ом, что позволит согласовать рамку с коаксиальным кабелем. Входное реактивное сопротивление рамки может иметь величину, сравнимую и даже большую входного активного сопротивления, поэтому такая рамка может иметь сложности при согласовании. Кабель питания должен проходить вдоль по мачте. Рамка с высотой подвеса 0,05 длины волны и углом наклона 30° примерно эквивалентна четвертьволновому диполю на высоте подвеса 0,25 длины волны (хотя, если есть возможность, все же лучше использовать диполь). Она имеет круговую диаграмму направленности.

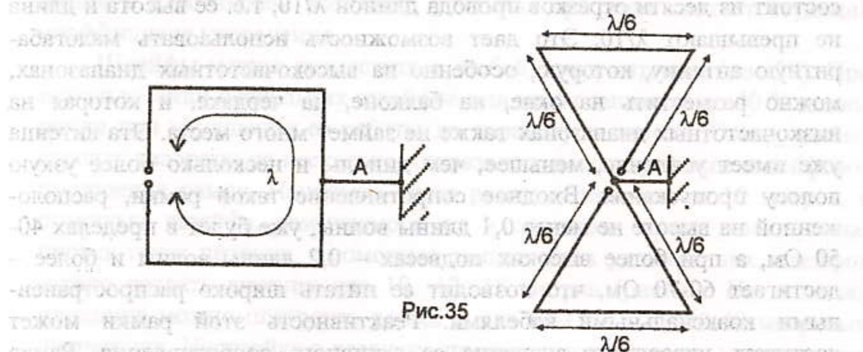


Рис.35

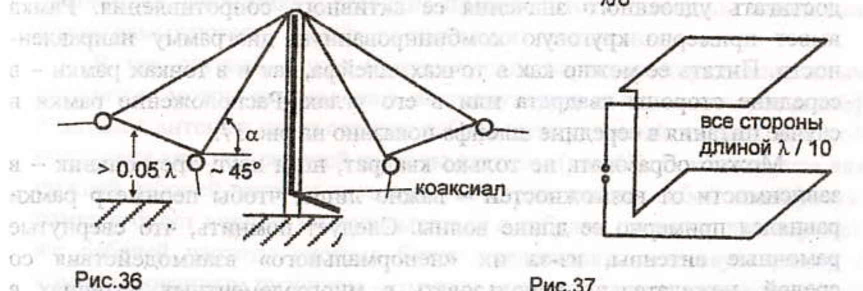


Рис.36

Рис.37

Оптимальный угол наклона рамки при высоте подвеса 0,05 длины волны составляет 30-60°, но она может работать и с углами наклона начиная от 10°. При подвесе на высоту, начиная от четверти длины волны, рамка уже при угле наклона от 60 до 90°, (т.е. горизонтальная рамка) имеет входное сопротивление 60-80 Ом и круговую диаграмму направленности. Усиление также примерно эквивалентно диполю.

Питать рамку можно описанными выше способами, симметрирование улучшает ее работу. Периметр полотна, так же, как у обычной рамки, равен примерно 1,01-1,02 длины волны, и из-за действия различных факторов может понадобиться его корректировка. Диапазонность рамки достигает не менее 2 % с КСВ не хуже 2, что позволяет перекрывать любительские диапазоны. Верхняя точка А (рис.35) может быть заземлена на мачту, что дополнительно расширит широкополосность рамки и увеличит ее грозозащиту.

Еще один интересный пример свернутой рамки описан в (л.9.3.), эта антенна также представляет собой рамку с периметром, равным длине волны, но свернутую в два квадрата (рис.37). Как видно, она состоит из десяти отрезков провода длиной λ/10, т.е. ее высота и длина не превышают λ/10. Это дает возможность использовать малогабаритную антенну, которую, особенно на высокочастотных диапазонах, можно разместить на окне, на балконе, на чердаке, и которая на низкочастотных диапазонах также не займет много места. Эта антенна уже имеет усиление, меньшее, чем диполь, и несколько более узкую полосу пропускания. Входное сопротивление такой рамки, расположенной на высоте не менее 0,1 длины волны, уже будет в пределах 40-50 Ом, а при более высоких подвесах – 0,2 длины волны и более – достигает 60-70 Ом, что позволит ее питать широко распространенными коаксиальными кабелями. Реактивность этой рамки может достигать удвоенного значения ее активного сопротивления. Рамка имеет примерно круговую комбинированную диаграмму направленности. Питать ее можно как в точках шлейфа, так и в точках рамки – в середине стороны квадрата или в его углах. Расположение рамки в случае питания в середине шлейфа показано на рис.37.

Можно образовать не только квадрат, но и круг, треугольник – в зависимости от возможностей – важно лишь, чтобы периметр рамки равнялся примерно ее длине волны. Следует помнить, что свернутые рамочные антенны, из-за их «ненормального» взаимодействия со средой, нежелательно использовать в многоэлементных антеннах в любом качестве – директора, вибратора, рефлектора.

10. Укороченный шлейфовый квадрат.

В тех случаях, когда установка полноразмерной волновой рамки затруднена, можно воспользоваться способом согласования антенны,

предложенным G5RV (л.10.1). Он заключается в том, что часть антенны (до 30 % длины) можно выполнить в виде открытой линии, применительно к рамочным антеннам (рис.38).

При выполнении 30 % длины в виде открытой линии и высоте подвеса не менее 0,2 длины волны коэффициент усиления рамки и ее диаграмма направленности будут сравнимы с диполем. Настраивают антенну длиной шлейфа.

Такие рамки имеют примерно такие же диаграммы направленности и входное сопротивление, как и их полноразмерные аналоги при таком же размещении. Не исключено, что придется немного подстроить шлейф по лучшему согласованию. Возможно использование и линии в пластиковой изоляции, учитывая при этом соответствующий коэффициент укорочения.

Шлейфы можно разместить в любой точке антенны (рис.39). При использовании нескольких шлейфов они могут занимать до 40 % длины рамки при ухудшении ее работы до параметров диполя. Очень удобно строить квадраты на несколько диапазонов, используя такое шлейфовое построение рамок. Например, имея рамку с периметром 10 метров, с помощью шлейфа, замыкаемого на «холодном» конце рамки – напротив точек питания, с помощью замыкающих удлиняющих шлейфов можно создать антенну для 10, 12, 15 метров (рис.40). На этом же принципе можно построить рамки и для 12-17, 17-20, 30-40 метровых диапазонов. Настройка в резонанс производится с помощью изменения длины замыкающего шлейфа на каждом из диапазонов.

В тех случаях, когда можно удовлетвориться двухдиапазонным вариантом, можно использовать некоммутируемое питание через шлейф и питание антенны через отрезок кабеля электрической длиной, кратной полуволне верхней рабочей частоты антенны (рис.41). В этом случае для нижней рабочей частоты система будет представлять собой шлейфовую рамку и будет хорошо согласовываться с кабелем питания, для верхней же рабочей частоты система будет представлять волновую рамку с комбинированным питанием – отрезок открытой линии и коаксиальный кабель. Для улучшения согласования антенной системы в этом случае необходимо использовать кабель электрической длины, кратной полуволне частоты верхнего рабочего диапазона. Основные параметры таких рамок – диаграмма направленности и входное сопротивление, примерно эквивалентны для полноразмерных рамок, приведенных в параграфах 7, 8 и 9.

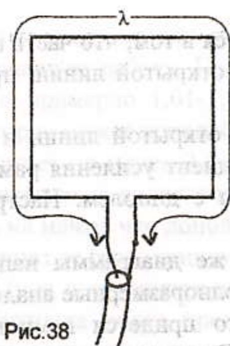
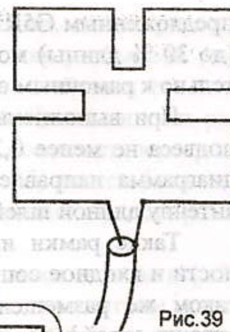


Рис.38


Рис.39

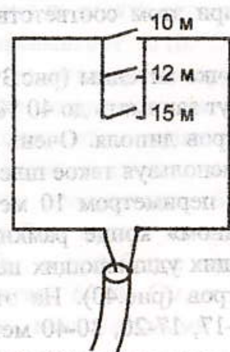


Рис.40

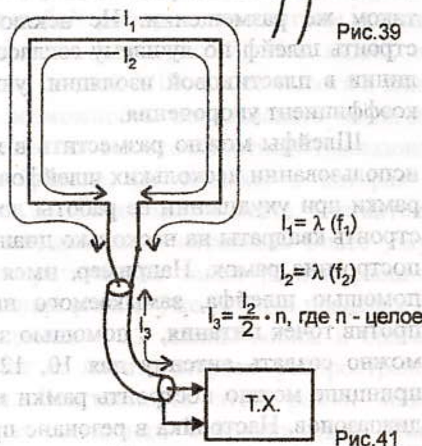


Рис.41

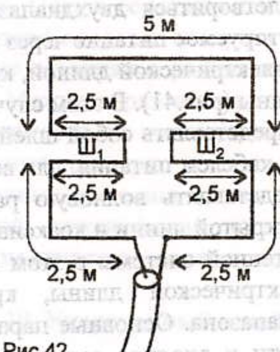


Рис.42

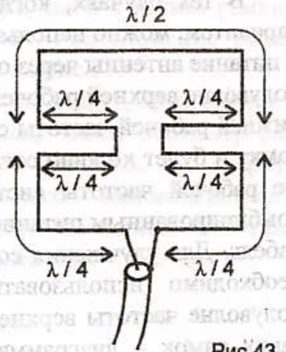


Рис.43

Представляют интерес и рамки, где шлейфы играют роль заградительных контуров (рис.42,43). Такие рамки могут быть использованы только в кратных диапазонах – например, 10-20, 20-40, 40-80 метров.

Разберем работу антенны на диапазоны 10 и 20 м. Здесь шлейф $ш_1$ и $ш_2$ имеет «бесконечное» сопротивление при работе на верхней частоте антенны – 10 метров, в результате чего эта антенна примерно эквивалентна диполю, но за счет верхней части, которую выбирают чуть длиннее нижней, нет излучения в зенит, и диаграмма направленности антенны более прижата к земле. В диапазоне 20 метров это обычная шлейфовая рамка. Шлейфы можно не туго свернуть, можно их развести в стороны, или использовать шлейфы в пластике, учитывая при этом коэффициент укорочения.

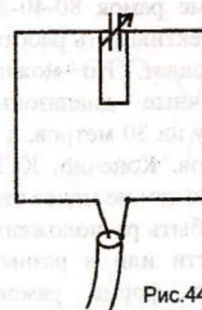
Настройка таких двухдиапазонных рамок заключается в настройке по минимуму КСВ части антенны под шлейфами при работе на верхнем диапазоне и с помощью верхней части над шлейфами при работе в нижнем диапазоне.

Шлейфовые рамки можно использовать для построения многоэлементных антенн.

Шлейфовые рамочные антенны – это симметричные антенны, поэтому здесь желательно использовать симметрирование.

Если шлейфы в антенне сделаны жестко и электрическая длина антенны получилась немного больше расчетной, то можно электрически укоротить шлейф с помощью емкости, размещенной в их начале (рис.44).

Если в антенне используется несколько шлейфов, то необходимо размещать в каждом из шлейфов по подстроечной емкости.


Рис.44

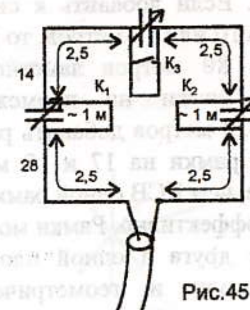
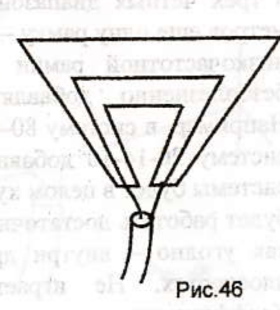


Рис.45


Рис.46

На основе таких шлейфов, при соответствующем расчете их параметров можно создавать и многодиапазонные антенны, используя

шлейф, подстраиваемый конденсатором как режекторный контур. Например, можно теоретически создать небольших размеров короткую эффективную антенну для 28-10-7 МГц (рис.45).

Здесь на 28 МГц работает нижняя часть рамки – и антенна представляет собой диполь, режекторные контуры K_1 и K_2 отключают верхнюю часть рамки. На 10 МГц рамка работает как свернутый полуволновый диполь, здесь его длина удлиняется до необходимой резонансной отрезками шлейфов K_1, K_2 и середина размыкается из-за режекторного контура, настроенного на 10 МГц. При работе на 7 МГц до этого диапазона удлиняется с помощью линий K_1, K_2, K_3. К сожалению, практическое выполнение такой антенны немного проблематично, хотя и реально.

11. Трехдиапазонная рамочная антенна.

Еще один способ создания многодиапазонной рамки – это включить параллельно три волновые рамки на соседние четные диапазоны – например, 80-40-20 или 40-20-10 метров (рис.46).

В этом случае рамки, работающие на разных диапазонах, оказывают малое влияние друг на друга. При работе рамок в одном из диапазонов только одна из них будет резонировать, и иметь активное сопротивление, которое зависит от положения рамок относительно земли (это уже обсуждалось ранее). Остальные рамки будут иметь при этом большие реактивные составляющие и не окажут большого влияния на работу резонансной рамки. Эта система может работать не более, чем в трех четных диапазонах. Если добавить к системе рамок 80-40-20 метров еще одну рамку – на 10 или 15 метров, то эффективность работы низкочастотной рамки на 80 метров заметно упадет. Но можно безболезненно добавлять рамки на промежуточные диапазоны. Например, в систему 80-40-20 метров добавить рамку на 30 метров, а в систему 20-14-10 добавить рамки на 17 и 12 метров. Конечно, КСВ системы будет в целом хуже, чем КСВ одной рамки, но тем не менее она будет работать достаточно эффективно. Рамки могут быть расположены как угодно – внутри друг друга в одной плоскости или в разных плоскостях. Не играет роли и геометрическая форма рамок. Коэффициент направленного действия системы будет в целом определяться К.Н.Д. резонансной рамки, хотя он будет несколько хуже, т.е. «размытее», из-за влияния соседних рамок, особенно это относится

к внутренним рамкам. Некоторый разнос рамок в плоскостях несколько уменьшает их влияние друг на друга. Эту систему также желательно питать через симметрирующее устройство. Система будет работоспособна и на нечетных резонансах ее отдельных рамочных антенн.

Описания таких антенных систем не редки как в нашей, так и в зарубежной литературе. Например, в л.11.1 была описана такая рамка, работающая на 3,5, 7 и 14 МГц. Встречаются и другие описания, являющиеся по сути дела повторением этого.

12. Укорочение рамки емкостью и индуктивностью.

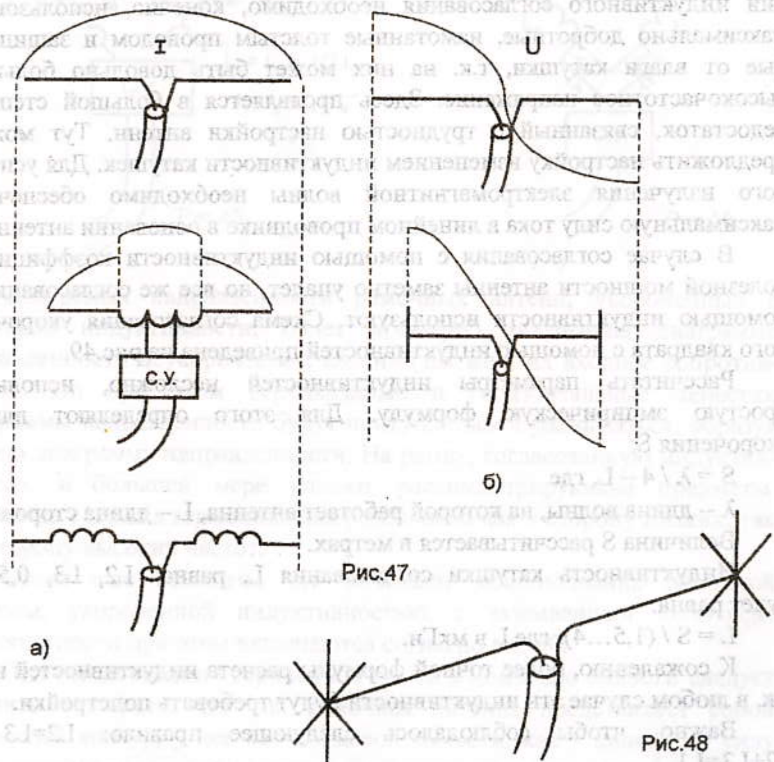


Рис.47

Рис.48

В целях уменьшения размеров рамочных антенн используют укороченные рамки. «Укоротить» рамку можно с помощью соответствующе включенных емкости и индуктивности. Обратимся для примера

к диполю – основному составляющему элементу рамки. На рис.47 показано распределение тока и напряжения в диполе.

Для того чтобы укоротить диполь с помощью катушки необходимо включить катушки в центр диполя и питать его через катушку связи, что несколько затруднительно и требует симметрирующее устройство, или подключить две идентичные катушки сразу к кабелю питания. Для укорочения с помощью емкости необходимо включить емкостные нагрузки на концах диполя – обычно это бывают 3-4 крестообразных проводника длиной около метра (рис.48).

Разберем достоинства и недостатки обеих схем. При использовании индуктивного согласования необходимо, конечно, использовать максимально добротные, намотанные толстым проводом и защищенные от влаги катушки, т.к. на них может быть довольно большое высокочастотное напряжение. Здесь проявляется в большой степени недостаток, связанный с трудностью настройки антенн. Тут можно предложить настройку изменением индуктивности катушек. Для успешного излучения электромагнитной волны необходимо обеспечить максимальную силу тока в линейном проводнике в основании антенны.

В случае согласования с помощью индуктивности коэффициент полезной мощности антенны заметно упадет, но все же согласование с помощью индуктивности используют. Схема согласования укороченного квадрата с помощью индуктивностей приведена на рис.49.

Рассчитать параметры индуктивностей несложно, используя простую эмпирическую формулу. Для этого определяют длину укорочения S:

$S = \lambda / 4 - L$, где

λ – длина волны, на которой работает антенна, L – длина стороны.

Величина S рассчитывается в метрах.

Индуктивность катушки согласования L, равная L2, L3, 0,5L1, будет равна:

$L = S / (1{,}5 \ldots 4)$, где L в мкГн.

К сожалению, более точной формулы расчета индуктивностей нет, т.к. в любом случае эти индуктивности будут требовать подстройки.

Важно, чтобы соблюдалось следующее правило: L2=L3 и L2+L3=L1

Согласование с помощью индуктивности позволяет уменьшить длину рамки примерно до 30-50% от первоначальной при уменьшении КПД до 30-10%. Широкополосность рамки при этом также уменьшается, но в целом рамка остается работоспособной внутри любительского диапазона. Для согласования рамки пригодны все указанные здесь методы, хорошо подходит симметричное гамма-согласование.

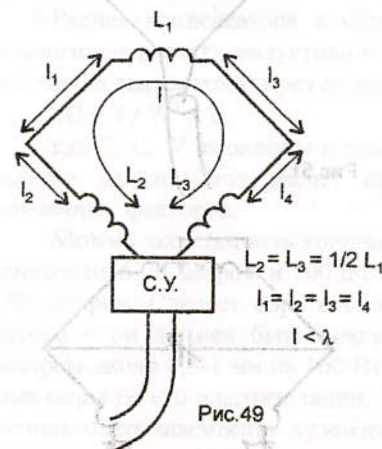


Рис.49

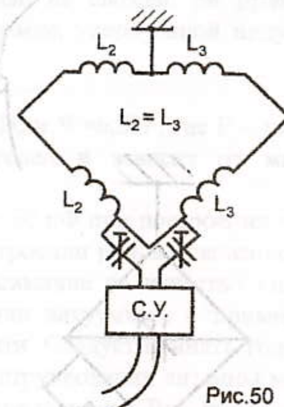


Рис.50

Диаграмма направленности рамочных антенн, укороченных с помощью индуктивности, будет примерно аналогична диаграмме направленности неукороченных антенн (так же и их входное сопротивление). Но при этом вертикальные и горизонтальные лепестки диаграммы направленности будут притупляться и размываться, образуя общую диаграмму направленности. На рамку, согласованную индуктивностью, в большей мере влияют рассимметрирующие предметы. Возможна сдвижка гармониковых резонансов как в сторону низких, так и в сторону высоких частот.

Стоит еще отметить, что возможно использование рамочной антенны, укороченной индуктивностью, с заземленным полотном. Индуктивности при этом включаются согласно рис.50.

При согласовании укороченной рамки с помощью емкости следует помнить тот факт, что т.к. рамочная антенна представляет собой замкнутый контур, у нее нет концевой емкости, как у диполя. В силу этого укорочение рамки емкостью возможно только за счет емкостного взаимодействия противоположных сторон с высоким потенциалом (рис.52).

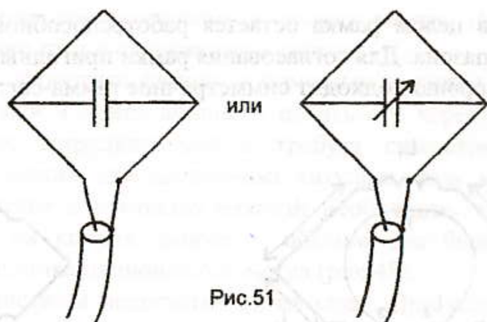
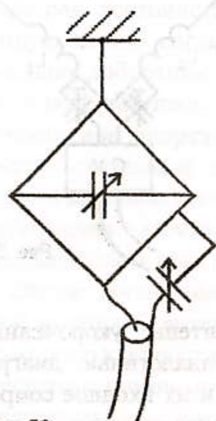
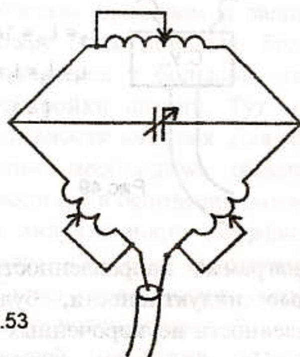


Рис.51


Рис.52


Рис.53

Здесь нельзя не отметить некоторую «искусственность» при емкостном согласовании рамки по сравнению с емкостным согласованием диполя. Если в последнем емкостные токи протекают между противоположными концами диполя, а также землей, и служат в конечном итоге для формирования диаграммы направленности и незначительно снижают излучение диполя, то здесь емкостные токи протекают только внутри конденсатора и не принимают участия в формировании объема излучения антенны. В силу того, что в случае согласования антенны с помощью индуктивности мощность тока у основания питания антенны повысится, на рамку, укороченную емкостью, в гораздо меньшей степени действуют ассимметрирующие факторы. За счет лучшего согласования с помощью емкости КПД такой рамки будет гораздо выше, по сравнению с рамкой, укороченной

индуктивностью, и составит примерно 60% при рамке с периметром 50%, и 40% при рамке с периметром 30%. В то же время при периметре рамки 90-70% от основной, КПД будет в пределах 90-80% основной рамки.

Расчет конденсатора в общем случае не сложен, он примерно аналогичен расчету индуктивности L в рамке, укороченной индуктивностью, и выражается через ее значение:

$4C = 1 / W^2 \times L$,

где C, L, W выражены в единицах СИ, и W=6,28F, где F – частота работы рамки. Этот расчет приблизителен и зависит от многих случайных факторов.

Можно использовать конденсатор до 50 пФ при построении рамок диапазона 6-20 метров, и 100 пФ при построении рамок диапазонов 80-160 метров. Следует обратить особое внимание на качество конденсатора – он должен быть воздушным или вакуумным с примерным зазором около 0,5-1 мм на 100 Вт мощности. Следует принять тщательные меры по его влагоизоляции. При конструировании антенны можно использовать заземление нулевого потенциала рамки. Все, что касается входного сопротивления и диаграммы направленности, аналогично рамке, согласованной индуктивностью.

Так как рамка, согласованная емкостью или индуктивностью, является резонансным элементом, то ее можно использовать в многоэлементных антеннах в качестве пассивных и активных элементов.

В многоэлементных антеннах при обеспечении возможности подстройки емкости, можно создать антенну с изменяемой диаграммой направленности на 180 градусов.

Следует обратить внимание, что хотя и возможно создание комбинированных укороченных рамочных антенн (рис.53), согласуемых с помощью индуктивностей и подстраиваемых емкостью, в радиолюбительской практике они не применяются из-за сложности реализации.

Следует обратить еще раз внимание на то, что только в основном отсутствие соответствующих высоковольтных переменных емкостей сдерживает применение укороченных емкостью рамок. В этой связи будет полезно рассмотреть укороченную антенну G3YDX (л.12.2). В этой антенне, рассчитанной на 14 МГц, роль емкости играют внутренние шлейфы (рис.54).

Укорачивая или удлиняя части А, можно менять резонансную частоту антенны. На таком принципе можно построить «конденсатор» и

для укороченных рамок для других диапазонов. Чем больше длина А, тем меньше длина рамки. В этой антенне для сохранения симметрии длины А во всех четырех сторонах должны быть одинаковыми.

И в конце этой главы стоит отметить, что в бывшем Советском Союзе первая доступная радиолюбителям публикация об укороченных рамочных антеннах появилась в л. 12.1.

13. Шунтовая рамка.

Описание примерно такой широкополосной рамочной антенны периодически появляется на страницах отечественной и зарубежной литературы (л.13.1, л.13.2). Широкополосная шунтовая рамка показана на рис.55.

Она работоспособна в диапазоне волн от 0,8λ до 2,5λ, где λ – собственная квазирезонансная длина волны антенны (рис.55). В этом диапазоне ее активное сопротивление меняется от 100 до 300 Ом при слабовыраженной реактивной составляющей. Стоит заметить, что иногда размеры ее сторон принимаются несколько отличными от λ/3, но незначительно.

Здесь рамка ведет себя почти как диполь – имеет примерно равный ему коэффициент усиления и диаграмму направленности, хотя рамку и можно размещать относительно низко над землей. В ее диаграмме направленности практически отсутствуют вертикальные составляющие излучения, так как из-за распределения тока в рамке они взаимно уничтожаются. Как вытекает из ее входного сопротивления, питать ее лучше по двухпроводной линии, но можно использовать и недлинный 75-омный коаксиал. Питание рамки должно быть только непосредственное, желательно использовать симметрирующее устройство.

Заземлять полотно шунтовой рамки нельзя ни в одной из точек.

В л.13.2 дан интересный способ получения волны с круговой поляризацией и некоторого согласования рамки. Этот способ заключается в питании рамки (рис.56) в точках А-А непосредственно, а в точках Б-Б через линию, обеспечивающую сдвиг 90 градусов. Недостатки этого метода заключаются в том, что достаточно легко осуществить сдвиг фаз посредством включения коаксиального кабеля можно лишь на одной частоте, на других сдвиг фаз будет иным, и в результате параметры рамки ухудшатся.

Но все же, эта рамка является одной из самых простых, обеспечивающих почти трехкратный перекрыв частот – одна рамка

может работать, скажем, от 10 до 30 метров. Эта рамка не является резонансной, поэтому ее нельзя использовать в качестве пассивных элементов многодиапазонных антенн, но в качестве активных элементов она вполне может быть использована. В частности, в л.13.1 рассмотрен вариант логопериодической антенны с использованием в качестве активного элемента описанной здесь шунтовой рамки. Но справедливости ради стоит добавить, что иногда появляются попытки создать широкополосную направленную многоэлементную антенну, используя в качестве пассивных элементов для нее шунтовых рамок, см. л.13.3, сама антенна изображена на рис.57.

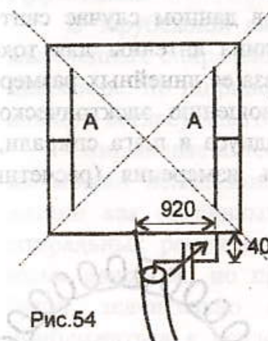


Рис.54

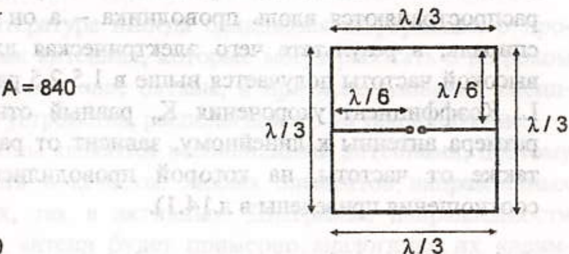


Рис.55

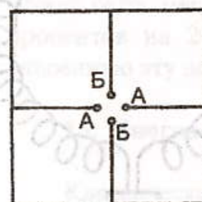


Рис.56

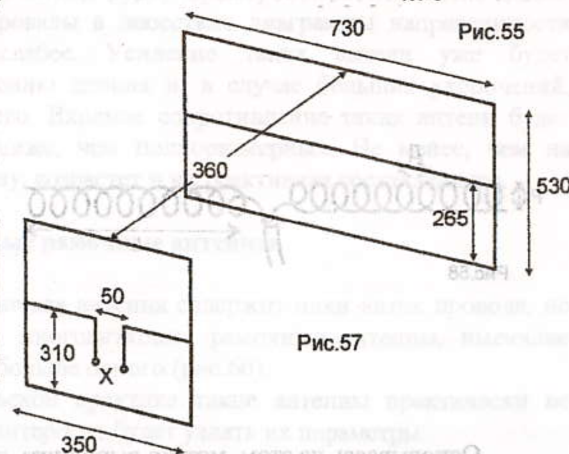


Рис.57

Эта антенна работает в диапазоне частот 180-250 МГц и имеет усиление около 2,2 раз над диполем соответствующего диапазона и меняется в пределах этого диапазона не более чем на 10%. К антенне подключена в точках Х-Х двухпроводная линия волновым сопротив-

лением 300 Ом. Данная антенна, учитывая высокий расход материалов на ее изготовление и низкий коэффициент усиления, проигрывает многим другим, более простым широкополосным антеннам, например, зигзагообразной антенне Харченко, которая будет описана ниже.

14. Спиральные рамочные антенны.

В л.14.1 были даны материалы, необходимые для расчетов антенн со спирально-укороченными элементами (рис.58). Особенность этих антенн состоит в том, что они существенно короче – в 1,5-2,5 раза – линейных антенн. Это происходит за счет того, что ВЧ токи распространяются вдоль проводника – а он в данном случае свит в спираль, в результате чего электрическая длина антенны для токов высокой частоты получается выше в 1,5-2,5 раза ее линейных размеров L. Коэффициент укорочения K, равный отношению электрического размера антенны к линейному, зависит от радиуса и шага спирали, а также от частоты, на которой проводились измерения (расчетные соотношения приведены в л.14.1).

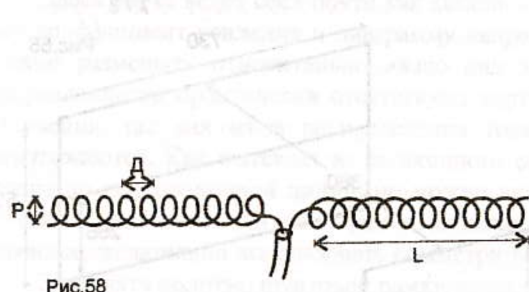


Рис.58

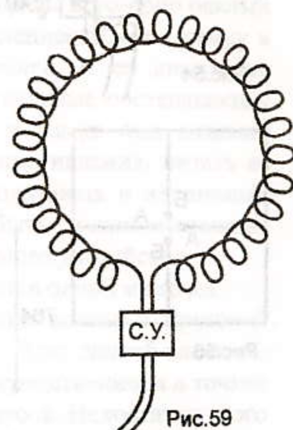


Рис.59

Основываясь на этом, можно выполнить линейные части рамочных антенн, используя спиральные проводники. В частности, это можно сделать, конструируя как «полноразмерные» спиральные рамки, так и укороченные. В этом случае размеры рамочных антенн получаются особенно небольшими (рис.59).

Такие рамки еще не получили широкого распространения в радиолюбительской связи, на мой взгляд, только из-за сложностей с каркасом – пластмассовым обручем. Например, на широко распространенном пластиковом спортивном обруче, который имеет диаметр от 1 до 1,2 метра, можно создать «полноразмерную» рамочную антенну только для диапазонов от 6 до 12 метров, а на этих диапазонах и полноразмерные рамки имеют небольшие размеры.

Используя согласующие устройства в виде емкостных нагрузок и шлейфов, диапазон работы стандартного обруча можно поднять до 15-20 метров, но на этих диапазонах его работа будет уже не столь эффективна.

В зарубежной литературе иногда появляется информация о промышленных спиральных антеннах, которые могут работать в широком диапазоне, но шириной не более октавы, и при использовании специального согласующего устройства, располагаемого на такой антенне.

Спиральные антенны являются резонансными антеннами, поэтому их можно использовать в качестве любых элементов направленных антенн как пассивных, так и активных. Диаграмма направленности спиральных рамочных антенн будет примерно аналогична их «длинным» аналогам, но провалы в лепестках диаграммы направленности будут значительно слабее. Усиление таких антенн уже будет приближаться к усилению диполя и, в случае больших укорочений, может быть меньше его. Входное сопротивление таких антенн будет процентов на 20-30 ниже, чем полноразмерных. Не менее, чем на удвоенную эту величину, возрастет и их реактивная составляющая.

15. Многовитковые рамочные антенны.

Классическая рамочная антенна содержит один виток провода, но иногда используют и многовитковые рамочные антенны, имеющие число витков в рамке, больше одного (рис.60).

Хотя в любительской практике такие антенны практически не используются, все же интересно будет узнать их параметры.

Сопротивление такой антенны будет в 2-3 раза выше для двухвитковой рамки, чем у одновитковой, и будет достигать нескольких килоом для 3-4 витковой. Отсюда вытекает, что коэффициент усиления двухвитковой рамки будет примерно на 0,5-1 дБ выше, чем у одновитковой. Будут также резче выражены минимумы ее диаграммы

направленности, которая, в общих чертах, будет совпадать с диаграммой направленности одновитковой рамки.

Из-за сложности согласования высокого входного сопротивления рамки с низким сопротивлением коаксиального кабеля или выходного каскада передатчика, эти преимущества реализовать не удается. Такая двойная рамка сильнее подвержена рассимметрированию, чем одиночная. Существует также проблема, связанная с обеспечением постоянного расстояния между внутренней и наружной рамкой. Чем больше расстояние межу соседними рамками, тем выше усиление, так как рамка охватывает больший объем.

Но все же иногда двойную и даже тройную рамку используют. Следует заметить, что сторона рамки должна быть кратной четверти длины волны. Использование многовитковой рамки общим периметром, равным длине волны, нецелесообразно из-за меньшего усиления, чем у одновитковой. Многовитковые резонансные рамки можно использовать в многоэлементных директорных антеннах, желательно использование в качестве активного элемента.

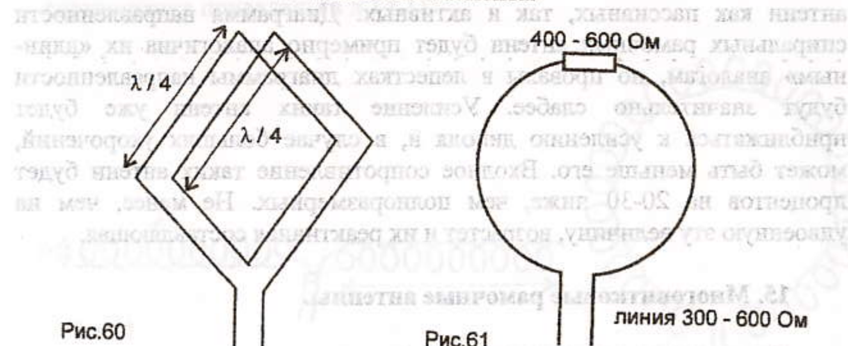


Рис.60 Рис.61

16. Широкополосные нагруженные рамки.

Широкополосная нагруженная рамка (рис.61) является неоптимальной ромбической антенной. В такой рамке периметр может составлять от 0,1 длины волны и больше, т.е. рамка с периметром длиной 10 метров будет работать во всех КВ диапазонах, начиная от 80 и заканчивая 6 метрами.

Подобный тип антенн называется антенной бегущей волны, в частности - ромбической антенной и подробно описан в л.16.1. Из этого

источника можно определить, что такая антенна будет эффективна при длине ее периметра не менее 2 длин волн, т.е. рамка с периметром 10 метров будет эффективно работать лишь на диапазоне 6 метров. На более низкочастотных диапазонах она будет иметь почти круговую диаграмму направленности с почти одинаковой вертикальной и горизонтальной составляющей. Располагаться такая рамка может как горизонтально с высотой подвеса нижней питающей точки не менее λ/8 (где λ – нижняя рабочая длина волны), так и вертикально. Входное сопротивление такой рамки близко к сопротивлению ее концевой нагрузки. Геометрия может быть любая, но предпочтителен круг или ромб.

Несмотря на ее низкую теоретическую эффективность, при использовании такой рамки, мне удавалось проводить даже DX QSO на диапазонах 20-40 м и QSO с 9-0 районом на 80-160 м, при подводимой мощности к такой антенне 20 Вт. Это говорит о том, что такую рамку вполне можно использовать в качестве вспомогательной широкополосной антенны.

Сопротивление нагрузки должно быть рассчитано на мощность не менее 30% от подводимой мощности к выходному каскаду на низкочастотном диапазоне (на высокочастотных диапазонах эти цифры могут быть уменьшены до 10%). Для питания антенны следует использовать двухпроводную линию волновым сопротивлением 300-600 Ом, либо, при питании через коаксиал, использовать известное согласующее устройство. Желательно применять симметрирование, при несимметричном выходе передатчика.

Следует заметить, что эта антенна является чем-то промежуточным между ромбической и петлевой. При использовании ее только на диапазонах 80-20 метров можно использовать нагрузочное сопротивление 75-100 Ом и питать ее непосредственно коаксиальным кабелем, но КПД такой антенны по сравнению с рамкой, нагруженной на 600-омное сопротивление, будет значительно ниже.

17. Двойная рамочная антенна.

Двойная рамочная антенна или антенна Харченко (по фамилии автора, впервые описавшего ее в л.17.1) показана на (рис.62). Периметр каждой из рамок равен длине волны, на которой работает рамка. За счет параллельного включения двух рамок суммарное входное сопротивление системы близко к 60 Ом, следовательно, антенну можно питать

через коаксиальный кабель как 75 Ом, так и 50 Ом.

Коэффициенты усиления двойной рамочной антенны или, как ее еще называют, зигзагообразной антенны, достигают от 6 до 8 дБ. Возрастает и полоса пропускания такой антенны, увеличивается ее эффективность на высоких частотах. График КБВ приведен на (рис.62б).

Для дальнейшего увеличения полосы пропускания антенны используют параллельное включение нескольких антенн (рис.63), как это делают и в случае использования одиночных рамочных антенн. Из-за значительных размеров зигзагообразные антенны используют, в основном, только в УКВ диапазонах. Широкополосность антенны позволяет менее строго подходить к точному соблюдению ее размеров, как, например, в случае вибраторных директорных антенн.

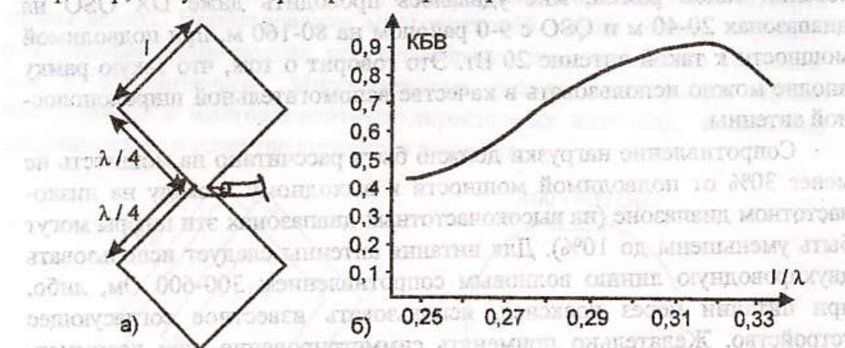


Рис.62

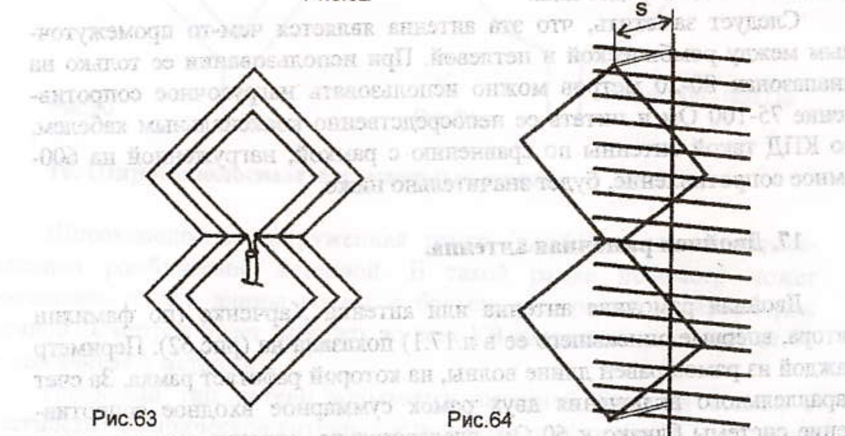


Рис.63 Рис.64

Но эта широкополосность не позволяет использовать зигзагообразные антенны в качестве пассивных элементов многоэлементных директорных антенн. Для выполнения рефлектора используют лист металла, либо его эквивалент, выполненный из проводников (рис.64).

С таким рефлектором коэффициент усиления зигзагообразной антенны может достигать 10-12 дБ (над изотропным излучателем).

Еще некоторого повышения усиления можно достигнуть, установив два директора длиной примерно 0,48 длины волны антенны (рис.65).

Несмотря на то, что двойная рамочная антенна хорошо согласуется с коаксиальным кабелем, можно использовать и вариант питания через гамма-согласование, предложенное в л.17.2. и показанное на (рис.66).

Такой вариант питания наиболее подходит при использовании зигзагообразной антенны на передачу, так как в этом случае минимизировано излучение гармоник передатчика. Такое питание, кроме того, позволяет выполнить антенну цельнометаллической и, следовательно, улучшить ее механические свойства.

Включение только двух рамок в одну систему не ограничивает использование зигзагообразных антенн в качестве антенн с высоким коэффициентом усиления. В л. 17.3. рассмотрен принцип объединения в одну систему двух зигзагообразных антенн, а в л.17.4. – от 4 до 16 зигзагообразных антенн! При объединении таких антенн соответствующим образом можно получить антенные системы, обладающие громадным коэффициентом усиления в диапазоне УКВ. К сожалению, размеры таких антенных полей получаются весьма значительными.

Хотя двойные рамочные антенны и являются симметричными, симметрирование часто не используют, особенно при работе антенн в TV-диапазонах. Это связано с тем, что обычно такие антенны выполняют широкополосными, чего нельзя сказать о симметрирующих устройствах УКВ диапазонов. Также ввиду небольших размеров зигзагообразных антенн и большого удаления от них посторонних предметов, рассимметрирование проявляется не сильно и потери от него незначительны.

Для успешной работы таких антенн их необходимо располагать как можно выше над землей, хотя уже при подвесе более длины волны все параметры антенны сохраняются.

Диаграмма направленности зигзагообразной антенны имеет форму восьмерки, но ее лепестки более узкие, чем для одиночной рамки.

18. Широкополосные и укороченные зигзагообразные антенны.

В л.18.1. рассмотрена широкополосная зигзагообразная антенна (рис.67а).

Широкополосность антенны достигается путем увеличения распределенной емкости проводников полотна антенны. В этом случае антенна работоспособна в диапазоне частот от 0,2 до 0,34 L/λ. График КБВ и КНД приведен на (рис.67б).

Чем выше рабочая частота, тем выше КНД и уже лепесток диаграммы направленности. Такую антенну широко используют при приеме телевидения в нескольких каналах. Иногда ее используют в служебной связи в качестве широкополосной приемной УКВ антенны.

Иногда встречаются описания зигзагообразных антенн, содержащих укороченные элементы, описанные в главах 10-12. Антенны, содержащие такие элементы, стоит использовать только на верхних КВ диапазонах (10-6 метров) для построения зигзагообразных антенн. В этом случае результаты оправдают затраты на построение «зигзага».



Рис.66

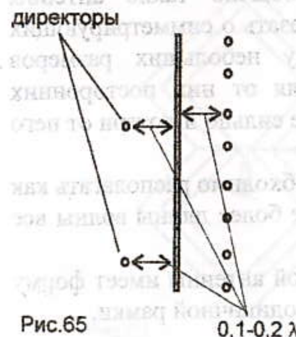
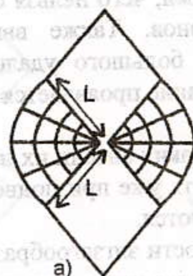


Рис.65



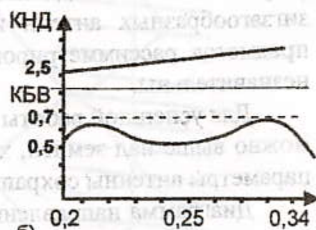


Рис.67

19. Открытые рамочные антенны.

Открытая рамочная антенна показана на (рис.68).

Она образована путем сгибания в квадрат диполя, с длиной плеч, равной длине волны. Распределение тока и напряжения в таком диполе показано на (рис.69). Поскольку такой волновой диполь имеет коэффициент усиления около 5 дБ над четвертьволновым диполем, то очевидно, что открытая рамка также будет иметь примерно такое же (на практике чуть меньше) усиление. На практике оно получается около 6-7 дБ над изотопным излучением. Диполь с такой длиной плеч имеет высокое входное сопротивление. Оно будет равно от 800 Ом до 5 кОм в зависимости от толщины провода, из которого выполнена рамка. Полоса пропускания такой антенны будет несколько меньше, чем для обычной рамки, но все же вполне достаточная для работы в каждом любительском диапазоне частот.

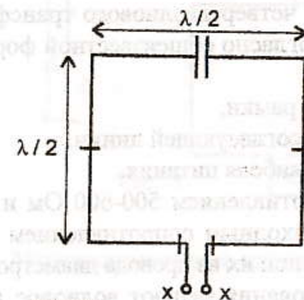


Рис.68

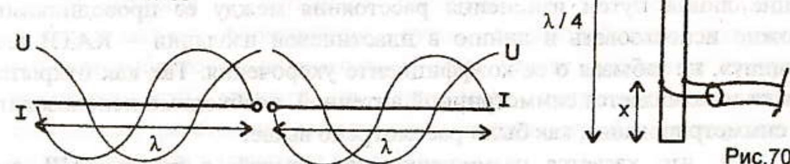


Рис.69

Рис.70

Для питания открытой рамки можно использовать двухпроводную открытую линию. В этом случае рамка будет работоспособна не только на своей резонансной частоте, но и на своих низкочастотных и высокочастотных гармониках, т.е. открытая рамка с периметром 40 м, предназначенная для работы на 20-метровом диапазоне, будет работать

в диапазоне частот от 10 до 80 м. Но если необходимо тщательное согласование (например, при построении рамки на 6 или 10-метровый диапазон) используют λ/4-волновой трансформатор. Можно использовать 2 типа таких трансформаторов: закрытый и открытый. Закрытый трансформатор показан на (рис.70).

Здесь используют то обстоятельство, что замкнутая λ/4-волновая линия имеет на открытом конце высокое входное сопротивление, а на замкнутом – низкое. Основываясь на этом, можно к открытому концу подключить высокоомную рамку, а на некотором расстоянии X от закрытого конца, которое определяется экспериментально, 75- или 50-омный кабель. Настройка системы достигается как изменением расстояния X, так и изменением расстояния между проводами четвертьволнового трансформатора. При таком согласовании будет достигнут минимальный уровень излучения гармоник, производимых передатчиком.

При использовании открытого четвертьволнового трансформатора (рис.71) согласование происходит согласно общеизвестной формуле :

$Z_р = Z_л / Z_к$,

где $Z_р$ - входное сопротивление рамки,

$Z_л$ - входное сопротивление согласующей линии,

$Z_к$ - входное сопротивление кабеля питания.

Здесь используют линию сопротивлением 500-600 Ом и коаксиал 75 Ом, что подходит для рамок с входным сопротивлением 3-5 КОм, которое они будут иметь при выполнении их из провода диаметром 1-3 мм.

Для более тщательного согласования меняют волновое сопротивление линии путем изменения расстояния между ее проводниками. Можно использовать и линию в пластиковой изоляции – КАТВ или «лапшу», не забывая о ее коэффициенте укорочения. Так как открытая рамка тоже является симметричной антенной, необходимо использовать ее симметрирование, как было рассмотрено выше.

Все, что касается размещения над землей, а также КПД для закрытой рамки, верно и для открытой, с той лишь разницей, что ее лепестки диаграммы направленности будут более узкими, чем для обычной рамки.

Следует еще заметить, что способ непосредственного питания коаксиальным кабелем (рис.72) ведет обычно к рассимметрированию рамки.

С таким питанием работа рамки на гармониковых частотах невозможна. В точках пучности напряжения, отмеченных на рис.68

штрихами, необходимо применять высококачественные изоляторы, особенно в точке разрыва.

Использование любого укорочения проводников – емкостного или индуктивного, резко снижает эффективность открытой рамки и уменьшает ее полосу пропускания до неприемлемого уровня.

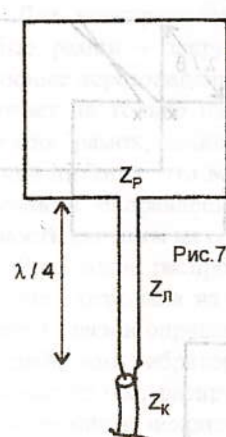


Рис.71

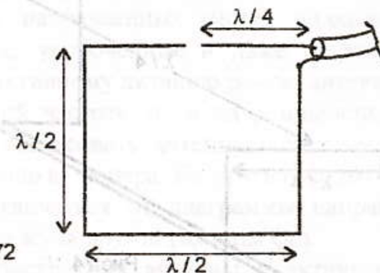


Рис.72

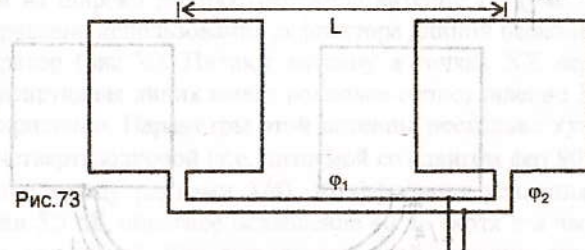


Рис.73

20. Многоэлементные антенны с активным питанием.

В антенне с активным питанием ее элементов диаграмма направленности формируется путем взаимодействия излученных каждым вибратором радиоволн. В этом случае суммарная диаграмма направленности зависит от диаграммы направленности каждого излучателя, расстояния между ними и разности фаз между токами, питающими эти излучатели (рис.73).

Отсюда понятно, что, так как одиночная рамка имеет узкую диаграмму направленности, то суммарная диаграмма направленности нескольких рамок будет еще более узкой. Следует обратить внимание на то, что коэффициент усиления системы из активных рамок выше, чем коэффициент усиления системы из такого же числа рамок, только одна из которых является активной.

Поскольку при наличии двух активных, близко расположенных

рамок при питании их током различных фаз можно создать диаграмму направленности с главным лепестком в практически любую сторону, остановимся только на часто встречающихся вариантах активных рамочных антенн. Один из них показан на рис.74.

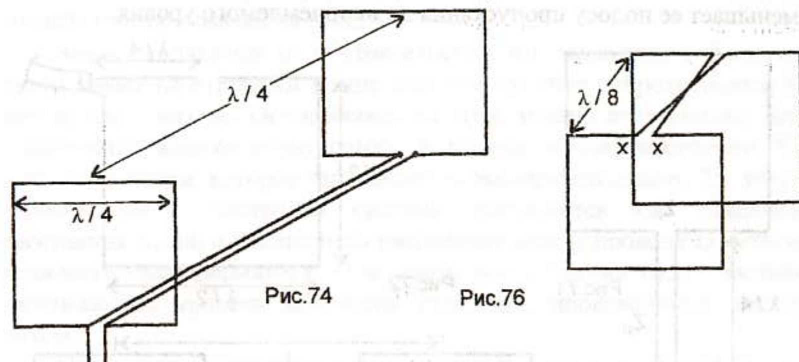


Рис.74

Рис.76

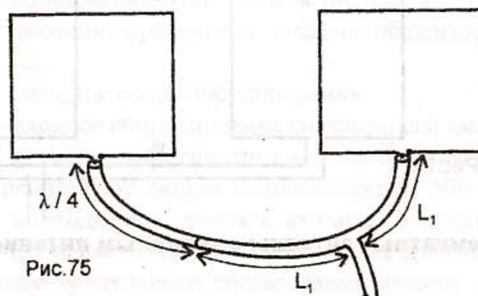


Рис.75

Он представляет собой две рамки, расположенные на расстоянии четверти длины волны, и питаемые со сдвигом фаз 90°. Направление излучения главного лепестка показано на рисунке. Характеристики такой антенны: усиление не хуже 12 дБ, не лучше 14 дБ; отношение излучения вперед/назад не менее 26 дБ, не более 40 дБ, отношение излучения вперед/вбок более 30 дБ. На практике, из-за того, что в качестве питающей линии используют коаксиальный кабель, линия питания элементов антенны выглядит как показано на рис.75. В качестве рамок можно использовать не только квадраты, но и другие фигуры - дельты, ромбы, круги. Входное сопротивление такой антенны будет в пределах 60 Ом, что позволяет использовать для ее питания любой коаксиальный кабель – 75 или 50 Ом. Такая антенна для

диапазона 40 метров рассмотрена в л.20.1., но иногда используют в качестве «рефлектора» такой антенны элемент, имеющий размеры рефлектора для обычной пассивной многоэлементной антенны. Такое построение антенны несколько усложняет ее согласование, хотя, безусловно, несколько улучшает ее характеристики.

Для конструирования активных направленных систем подходят любые рамки – закрытые, открытые, укороченные и даже широкополосные нерезонансные. Благодаря активному питанию рамок, антенна работает не только на своей основной частоте, но и на резонансных частотах рамок, необходимо лишь согласовать антенную систему с линией питания, что возможно с помощью тюнера. На других частотах диаграмма направленности будет отличаться от диаграммы направленности системы на основной частоте из-за другой разницы фаз.

Еще одна распространенная конструкция антенны с активным питанием основана на широко распространенной антенне ZL (рис.76). Именно здесь и оправдано использование рефлектора длиной несколько большей, чем вибратор (рис.76). Питают антенну в точках XX через коаксиал 75 Ом, фазирующая линия имеет волновое сопротивление 300 Ом, хотя оно и некритично. Параметры этой антенны несколько хуже, чем классической четвертьволновой (т.е. питаемой со сдвигом фаз 90° и имеющей расстояние между рамками λ/4). Коэффициент усиления в прямом направлении 5,5 дБ, обратное ослабление 40 дБ (хотя эта часто приводимая цифра завышена). Для выполнения этой антенны также можно использовать резонансные закрытые рамки (как полноразмерные, так и укороченные различными способами) и открытые рамки. Использование нерезонансных рамок также возможно для выполнения этой антенны. Антенна может работать и на других резонансных частотах рамок.

21. Многоэлементные рамочные антенны с пассивными элементами.

Принцип работы многоэлементной антенны с пассивными элементами основан на взаимодействии поля излучения активного элемента с полями переизлучения, создаваемыми пассивными элементами, которые, в свою очередь, образуются от энергии, излученной активным элементом. Для создания соответствующего распределения необходимо, чтобы рефлектор был настроен на частоту чуть ниже

частоты настройки излучателя, а директор – на частоту чуть выше (рис.77).

Уровень переизлучения пассивными элементами существенно зависит как от частоты их резонансной настройки, так и от их добротности на резонансной частоте. Выполнение пассивных элементов из тонкой проволоки (конечно, тонкой до определенных пределов) приводит к некоторому повышению эффективности антенны за счет увеличения добротности пассивных элементов. Выполнение пассивных элементов толстыми несколько снижает эффективность антенны за счет снижения уровня переизлучения. (Но толстые элементы будут великолепно работать в антенне с активным питанием элементов!). Так как толстые элементы имеют более широкую полосу пропускания, то уменьшится коэффициент усиления антенны, который прямо пропорционально связан с ее полосой пропускания. Вообще говоря, следует придерживаться следующих рекомендаций: все элементы антенны должны быть выполнены из материала одинаковой толщины - только в этом случае можно создать оптимальную диаграмму направленности. Для данной конструкции антенны: толщина вибраторов S должна быть не более, чем:

$S=\lambda/1000$ (для диапазона до 30 МГц);

$S=\lambda/100$ (свыше 50 МГц);

где λ - длина волны в метрах, на которой работает антенна, т.е. на диапазоне 10 метров толщина вибраторов должна быть не более 10 мм, на диапазоне 20 метров – 20 мм. При более толстых элементах коэффициент усиления немного уменьшается и полоса пропускания антенны возрастает (но в то же время упрощается ее настройка!).

Усиление, обеспечиваемое многоэлементной рамочной антенной, и усиление, обеспечиваемое многоэлементной дипольной антенной (типа «волновой канал»), имеющей на один элемент больше рамочной, примерно равны. Это приведено в л.21.1, 21.2 и в другой радиолюбительской литературе. Связано это с тем, что уже сам активный элемент антенны – квадрат – имеет усиление как минимум на 1 дБ больше, чем усиление активного элемента антенны «волновой канал» диполя. Играет свою роль и то, что большее усиление обеспечивают и пассивные элементы многоэлементной рамочной антенны. Можно принять цифры, что усиление относительно диполя двухэлементной рамочной антенны и трехэлементной дипольной – не менее 7 дБ, усиление трехэлементной рамочной и 4-х элементной дипольной – не

менее 9 дБ, соответственно 4 и 5 элементных антенн – не менее 10 дБ, т.е. очевидно, что после трех элементов резкий рост усиления прекращается, и добавление каждого директора дает прирост усиления всего лишь 1 дБ. Отношение излучения вперед/назад может достигать на практике от 20 до 30 дБ и очень зависит от конструкции, питания и размещения антенны. Из сказанного видно, что наиболее оптимальной конструкцией является 2-х и 3-х элементная рамочная антенна. Прирост усиления первой по сравнению с обычной рамкой составляет не менее 5 дБ, а прирост усиления трехэлементной антенны по сравнению с двух – уже только 2 дБ.

Так как геометрию рамочной антенны составляют горизонтальные, и вертикальные проводники, то рамочная многоэлементная антенна излучает как вертикально, так и горизонтально поляризованную волну так, как это было показано в предыдущих главах. То же самое относится и к положению антенны относительно земли. Рамочная антенна уже будет работать при высоте подвеса нижней ее части около 0,1 от длины волны, на которой работает антенна. Конечно, лучшие результаты будут при высоком подвесе антенны.

Поскольку составные части многоэлементной рамочной антенны – рамки – широкополоснее, чем составные части YAGI - диполи, то и сама многоэлементная рамочная антенна широкополоснее YAGI, которая часто работает лишь в части любительского диапазона. Правильно настроенная многоэлементная рамочная антенна работает во всем любительском диапазоне с приемлемым КСВ. Ее широкополосность должна быть не менее 2-3 % от центральной рабочей частоты.

Входное сопротивление многоэлементной рамочной антенны может достигать 75 Ом для двухэлементной и 50 Ом для трех и более элементной антенны. Входное сопротивление зависит от настройки пассивных рамок, от местоположения антенны относительно посторонних предметов и высоты ее подвеса, и может быть от 40 до 80 Ом. Вот почему, хотя антенну и можно запитать непосредственно кабелем с подходящим волновым сопротивлением, гораздо лучше будет использовать гамма согласование. Размеры его будут совпадать с размерами уже здесь описанного гамма согласования для одиночной рамки. Понятно, что многоэлементная рамочная антенна при использовании гамма согласования будет строго однодиапазонной антенной, причем с минимумом излучения различных высокочастотных и низкочастотных гармоник передатчика. При питании же антенны непосредственно через

коаксиальный кабель, она в принципе может работать на нечетных гармониках рамок, также при соответствующем согласовании, и с очень малой эффективностью в диапазонах в 2-3 раза ниже резонансного диапазона волн.

Все, что касается симметрирования одиночной рамки, особенно верно и для многоэлементной системы, так как в этом случае даже небольшое рассимметрирование может сместить и исказить лепесток диаграммы направленности.

Что касается поляризации и качественного вида диаграммы направленности (в направлении главного излучения) для рамок различных конфигураций и подвеса, то все, что касалось одиночной рамки, верно и для многоэлементной антенны. Но здесь необходимо более критически относиться к высоте подвеса, так как в этом случае земля влияет сразу на несколько рамок – рефлектор, излучатель и директор. А в этом случае суммарное дестабилизирующее влияние может существенно ухудшить параметры антенны и потребовать более серьезной и тщательной ее настройки.

Иногда многоэлементные антенны, при подвесе их на высоту не менее длины волны, располагают наклонно к земле (рис.77). Это делают с той целью, чтобы основной лепесток излучения был еще более пологим к горизонту. Многоэлементная антенна, расположенная на высоте четверти длины волны над землей, всегда будет иметь максимум главного лепестка в 45° под горизонт, а при высоте менее этой лепесток поднимется еще выше. Но наряду с главным лепестком всегда будут побочные лепестки, расположенные под малым углом к горизонту, поэтому с многоэлементной антенной с низким подвесом возможны как местные, так и дальние связи, а уже с антенной с высоким подвесом - начиная от длины волны, на которой работает антенна, только дальние связи и связи поверхностной волной – обычно до 100 км (на 21-28 МГц).

22. Размеры и исполнение многоэлементных рамочных антенн.

При изготовлении многоэлементных антенн следует стремиться к возможной оптимизации их параметров. Для двухэлементной антенны коэффициент усиления и КНД зависят как от расстояния между рефлектором и активным элементом, так и от размеров рефлектора. Как проверено на практике, оптимальный рефлектор для двухэлементной

ан-тенны должен быть на 5-6% длиннее ее активного элемента. Рефлектор можно выполнить сразу длиннее, а можно выполнить его и подстроечным (рис.78).

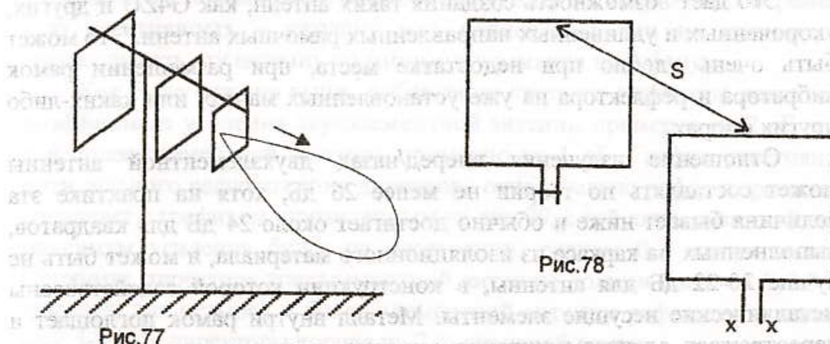


Рис.77

Рис.78

Первоначально рефлектор и вибратор выполняют одинаковых размеров, затем изменением длины рефлектора путем перемещения перемычки, настраивают антенну по максимальному усилению или по максимальному ослаблению заднего лепестка – эти настройки несколько не совпадают.

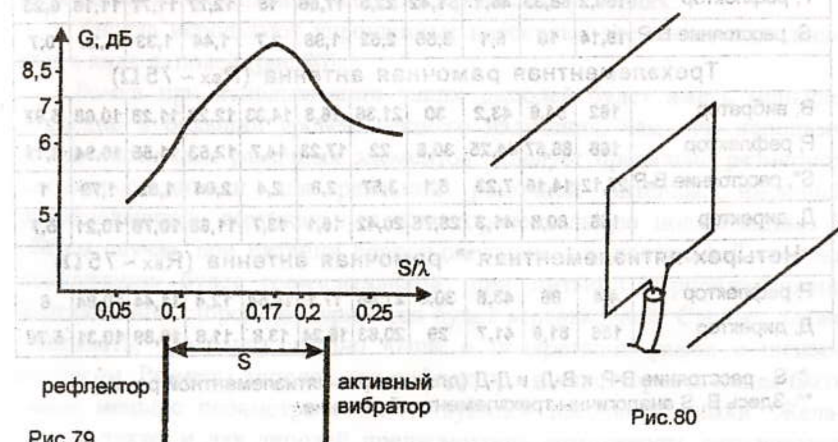


Рис.79

Рис.80

Усиление антенны в большой мере зависит от расстояния между рефлектором и вибратором (рис.79). Как видно из этого графика, приведенного во многих источниках (л.22.1, л.22.2), оптимальное усиление

двухэлементной антенны будет при расстоянии вибратор-рефлектор 0,175λ. Но антенна будет эффективно работать и при расстоянии, равном от 0,05 до 0,25 длины волны.

Это дает возможность создания таких антенн, как G4ZU и других, укороченных и удлиненных направленных рамочных антенн. Это может быть очень удобно при недостатке места, при размещении рамок вибратора и рефлектора на уже установленных мачтах или каких-либо других опорах.

Отношение излучения вперед/назад двухэлементной антенны может составлять по теории не менее 26 дБ, хотя на практике эта величина бывает ниже и обычно достигает около 24 дБ для квадратов, выполненных на каркасе из изоляционного материала, и может быть не лучше 20-22 дБ для антенны, в конструкции которой задействованы металлические несущие элементы. Металл внутри рамок поглощает и переотражает электромагнитную энергию, что ухудшает характеристики антенны.

Двухэлементная рамочная антенна ($R_{вх} \sim 75\ \Omega$)											
Частота, Мгц	1,88	3,6	7,05	10,12	14,25	18,1	21,25	24,9	27	28,5	51
В, вибратор	161,7	84,16	43	30	21,26	16,7	14,26	12,17	11,22	10,63	5,94
Р, рефлектор	169,2	88,33	45,1	31,42	22,3	17,56	15	12,77	11,77	11,16	6,23
S, расстояние В-Р	19,14	10	5,1	3,55	2,52	1,98	1,7	1,44	1,33	1,26	0,7
Трехэлементная рамочная антенна ($R_{вх} \sim 75\ \Omega$)											
В, вибратор	162	84,6	43,2	30	21,36	16,8	14,33	12,23	11,28	10,68	5,97
Р, рефлектор	166	86,67	44,25	30,8	22	17,23	14,7	12,53	11,55	10,94	6,11
S*, расстояние В-Р	27,12	14,16	7,23	5,1	3,57	2,8	2,4	2,04	1,89	1,79	1
Д, директор	155	80,8	41,3	28,75	20,42	16,1	13,7	11,68	10,78	10,21	5,7
Четырех-пятиэлементная** рамочная антенна ($R_{вх} \sim 75\ \Omega$)											
Р, рефлектор	4,4	86	43,8	30,5	21,68	17,1	14,54	12,4	11,44	10,84	6
Д, директор	156	81,6	41,7	29	20,63	16,24	13,8	11,8	10,89	10,31	5,76

* S - расстояние В-Р, и В-Д, и Д-Д (для четырех-пятиэлементной рамки).
** Здесь В, S аналогичны трехэлементной антенне.

Рис.81

К ухудшению характеристик рамочных антенн ведет размещение нескольких антенн на одной траверсе. А если еще используется питание всех рамок через один кабель, то добиться отношения излучения

вперед/назад лучше 20 дБ вряд ли удастся. Здесь можно попытаться использовать поляризационное разделение внутренних рамок (л.22.1), но в этом случае коаксиальный кабель, идущий от неиспользуемой в данный момент рамки, необходимо нагружать на какую-либо переменную реактивность – катушку или конденсатор или их систему, и согласовывать эту антенну по минимуму влияния на рабочую.

Как было сказано выше, добавление лишнего директора повышает коэффициент усиления двухэлементной антенны примерно на 2 дБ, а 3-х и более элементной антенны примерно на 1 дБ. График расстояния оптимального расположения директора относительно рефлектора почти совпадает с графиком, приведенным на рис.79, с той лишь разницей, что максимум усиления будет на расстоянии, равном 0,2 длины волны. Периметр директора трехэлементной антенны должен быть на 2,5-3 % длиннее; для четырех и более элементной антенны рефлектор длиннее на 2,5-3 %, а директоры короче на 2 % активной рамки.

Таблицы оптимальных размеров рамочных многоэлементных антенн приведены на рис.81. Конечно, можно жестко не придерживаться расстояния между вибраторами, имея в виду рис.79, следует также помнить, что лучше всего выполнять пассивные элементы антенны подстроечными. Это дает возможность точно настроить антенну по максимуму коэффициента усиления в реальных условиях.

Иногда используют упрощенные пассивные элементы, выполненные в виде диполей (рис.80).

Рамка при использовании таких диполей будет иметь меньшее усиление и больший уровень заднего излучения, чем при использовании пассивных рамочных элементов. Следует правильно размещать пассивные диполи для реальной рамочной антенны, имеющей преобладающую вертикальную или горизонтальную поляризацию. В общем случае, при питании перпендикулярно горизонтальной стороне поляризация будет горизонтальной, при питании перпендикулярно вертикальной стороне поляризация будет вертикальной. Следует также учитывать, что было сказано выше о поляризации рамок с низким подвесом. Размеры диполей для рефлектора и директоров должны быть вдвое меньше периметра соответствующей пассивной рамки. Желательно также и для диполей предусмотреть возможность регулировки их размеров.

Возможно использование и других резонансных элементов в качестве пассивных элементов (рис.80).

23. Многоэлементные рамочные антенны с открытыми рамками.

Все, что касается закрытых рамочных многоэлементных антенн относительно размеров их пассивных элементов и расстояния между ними, верно и для открытых рамочных антенн.

Для получения размеров открытой рамочной антенны необходимо все размеры пассивных и активных элементов умножить на два. Входное сопротивление такой антенны также будет достаточно велико, и для ее питания и симметрирования необходимо использовать все методы, описанные для согласования выше.

Усиление открытой рамочной антенны будет выше закрытой примерно на 2-3 дБ. При использовании для ее питания двухпроводной линии и согласующего устройства, такую антенну можно согласовать в более широком диапазоне частот, чем закрытую рамочную антенну.

Но в то же время такая антенна требует большего расхода материалов по сравнению с закрытой рамочной антенной и больше места для её установки.

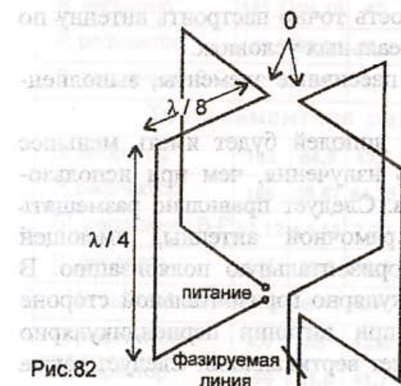
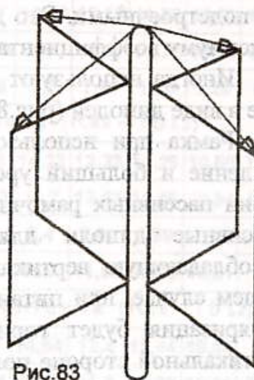


Рис.82


Рис.83

24. Двухэлементная антенна G4ZU.

Эта антенна (л. 24. 1. рис.82) имеет ещё одно название - «птичья клетка», за её внешний вид. Но по позывному впервые предложившего её радиолюбителя, её также называют «квадратная антенна G4ZU».

Как видно из рисунка, здесь центры рефлектора и излучателя

находятся на очень близком расстояние друг от друга – на практике получается 50-20 см, в зависимости от диапазона. За счёт этого неоптимального расположения такая антенна имеет реальный коэффициент усиления – около 6-7 дБ, и ослабление заднего лепестка около 20 дБ.

Для этой антенны требуется всего лишь одна мачта, более того, верхние части антенны (на рис.82 обозначены «О») имеют нулевой потенциал и, следовательно, могут быть заземлены, что ещё более упрощает конструкцию антенны. При проектировании G4ZU на НЧ диапазоны мачта делается немного выше квадратов и используется для крепления оттяжек (рис. 83). Часто внутри квадратов на НЧ диапазоны помещают квадраты и для ВЧ диапазонов. Можно использовать для этих целей не только квадраты, но и другие рамки: UA1ZAS (л. 24.2) рекомендует использовать дельты для построения G4ZU. Периметр рамок должен соответствовать указанному ранее для двухэлементных антенн. Желательна возможность подстройки рефлектора. Поскольку средняя точка G4ZU заземлена, изменять направление излучения системы можно коммутацией шлейфа и подключения настроечной линией рефлектора (л. 24.3).

Схема такой антенны показана на рис.84. С помощью реле к одной рамке подключают кабель питания, а к другой – удлиняющую линию, и можно менять направление излучения антенны на 360° фиксированно через 90°. Эта антенна должна находиться по возможности в свободном от посторонних предметов пространстве, чтобы исключить их влияние на работу антенны, которое будет проявляться в ее рассимметрировании, и, следовательно, длина настроечного шлейфа будет неоптимальной для каждой из ее сторон излучения.

На принципе питания через симметричное гамма-согласование основана конструкция антенны HB9CV (л.24.1). В ней заземлены уже все точки, имеющие минимум напряжения (рис.85). Эту антенну часто выполняют с уменьшенным расстоянием между вибраторами (рис.86). Коэффициент усиления такой антенны еще меньше, чем G4ZU, и составляет 5-6 дБ. Размеры рефлектора и излучателя соответствуют указанным для многоэлементных антенн, хотя лучше сделать рефлектор с возможностью подстройки его длины.

Антенну G4ZU лучше всего питать 75-омным кабелем (хотя, с некоторым ухудшением ее работы, подойдет и 50-омный), приняв самые серьезные меры по его симметрированию. Можно питать и через симметричное гамма согласование, описанное здесь ранее. Размещать

антенну следует как можно выше над землей.

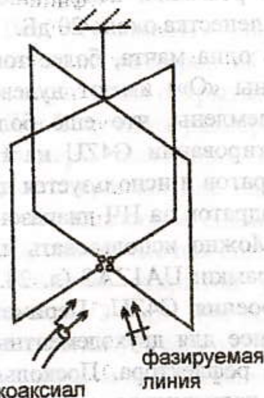
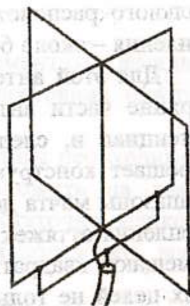


Рис. 84


Рис. 85

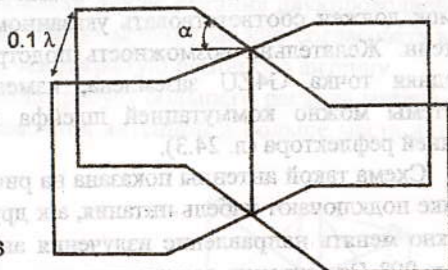


Рис. 86

25. Расположение рамочных антенн относительно других предметов.

Рамочные антенны излучают как вертикально, так и горизонтально поляризованную волну. В зависимости от того, какая из них преобладает, выбирают место установки антенны. Крайне важно, чтобы в лепестке диаграммы направленности антенны не было предметов, реагирующих на преобладающую поляризованную составляющую ЭМВ, излучаемую антенной, или чтобы эти предметы находились на расстоянии не менее двух длин волны или, в крайнем случае, на расстоянии, равном половине периметра антенны. Посторонние предметы, переизлучая ЭМВ энергию, могут серьезно исказить диаграмму направленности антенны, вызвав провал в ее лепестке излучения. Особенно это касается многоэлементных антенн с узкой диаграммой направленности. В провале диаграммы направленности рамочной

антенны посторонние проводящие предметы могут находиться на расстоянии не менее четверти длины волны работы антенны. В принципе возможно размещение внутри рамки какой-либо малогабаритной антенны – магнитной рамки или штыря, хотя это и несколько ухудшит параметры обоих антенн. Для растяжек рамочных антенн желательно использовать неметаллические оттяжки – синтетическую негниющую веревку, толстую рыболовную леску. Металлические оттяжки могут стать причиной TVI при плохой фильтрации сигнала передатчика и вообще при больших уровнях сигнала, подводимого к антенне.

Рамочные антенны менее капризны в установке, чем дипольные антенны, и допускают свою установку в таких условиях – малая высота подвеса и большая насыщенность мешающими предметами территории их установки – когда установка диполя неэффективна. Это происходит потому, что дипольная антенна разомкнута, и даже небольшое количество проводящих предметов может изменить емкость концов диполя, и, следовательно, изменить его резонансную частоту. Рамочная антенна замкнута, разомкнутая же рамочная антенна является «квазизамкнутой» – т.е. ведет себя как закрытая рамка по отношению к различным дестабилизирующим предметам. Это позволяет подходить к размещению рамочных антенн менее строго, чем в случае дипольных и штыревых антенн.

26. Влияние атмосферных воздействий на рамочную антенну.

Рамочные антенны, особенно открытые, являются одними из самых опасных антенн с точки зрения статического электричества. Вследствие своих значительных линейных размеров и обычно более высокого расположения относительно других антенн, они являются целью для удара молнии и собирателем статического электричества. Это особенно заметно в предгрозовой и грозовой период, а также в сухую зимнюю погоду. Антенна при работе на прием дает много QRM. Если же антенну изолировать от электротехнической «земли», т.е. вынуть кабель из разъема, то статический заряд, накопленный антенной, выразится в искрах, и довольно значительных, проскакивающих между оплеткой коаксиала и «землей». Чтобы этого не происходило, необходимо заземлять оплетку коаксиала, и лучше, если это будет сделано на крыше. На крыше оплетку коаксиала следует заземлять через

резистор 10-100 кОм мощностью 2 Вт либо через ВЧ-дроссель. Это предотвратит дополнительное рассимметрирование антенны. Хорошим методом защиты антенны от статики является заземление точки полотна нулевого потенциала на мачте размещения антенны. Безопасными антенными являются антенны типа G4ZU, полотно которых заземлено на мачте.

Особое внимание следует обратить на установку разомкнутых рамочных антенн. Для этого необходимо ознакомиться с л.26.1. Открытый незаземленный ус рамки может явиться причиной выхода из строя выходных транзисторов передатчика. Накопленный заряд (он накапливается в погонной емкости коаксиала) может разрушить верхний изолятор, если оплетка кабеля не будет заземлена. Иногда возникает периодический пробой этого изолятора, который может выражаться в сильных QRM приему, и даже может стать причиной TVI.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Беньковский З., Липинский Э.: Любительские антенны коротких и ультракоротких волн. М., Радио и связь,1983.
В.1, Л. 9. 2, Л. 24. 1.
2. В.Швыдкий (UH8CT): Антенна радиостанции UK8HAA; Радио № 7, 1972.
В.2.
3. Г.Болотов, С.Жемайтис: Многодиапазонный вариант рамочной антенны; Радио № 2, 1989 г.
В.3; Л.4.3.
4. К.Сепп, А.Снесарев: КВ антенны «квадрат»; Радио № 6, 7, 1978 г.
В.4; Л.20.2; Л.21.1.
5. J.L. Dietrich WAORDX: Loops and dipoles; A Comparative analisis QST, sept. 1985.
Л.2.1.
6. Рамка с 50-омным питанием; КВ-журнал № 1, 1992.
Л.2.2..
7. Г.З.Айзенберг и др.: Коротковолновые антенны. М.; Радио и связь, 1985.
Л. 4.1.; Л.16.1.
8. И. Подгорный (UC2AGL): Антенный тюнер; Радиолюбитель № 1, 1991.
Л.4..2.

9. Г.И. Атабеков: Линейные электрические цепи., М., Энергия, 1978.
Л. 5.1.
10. Ротхаммель К.: Антенны.; М.; Энергия, 1978.
Л. 9.1.; Л.10.1.; Л.20.3.; Л.21.2.
11. Антенна «Мини квадрат»; («За рубежом», QST № 8, 1973), Радио № 10, 1973.
Л.9.3.
12. А. Голицин (UA9UR): Антенна для низкочастотных диапазонов; Радио № 2, 1973.
Л. 11.1.
13. С. Бунимович: Малогабаритная квадратная антенна; Радио № 4, 1968.
Л.12.1.
14. Квадрат на 14 МГц; («За рубежом», RADCOM № 10, 1976), Радио № 4, 1977.
Л.12.2; Л.13.2.
15. Е.Барановский, Э.Тумаркин: Диапазонная рамочная антенна; Радио № 6, 1969.
16. Антенна на 180-250 МГц; («За рубежом», Radioamateur № 12, 1959), Радио № 3, 1960.
Л. 13.3.
17. К.Харченко: Проводники с укорочением в антеннах; Радио № 8, 1979.
Л.14.1.
18. К.Харченко: За зоной уверенного приема. Зигзагообразные антенны. Радио № 3, 1961.
Телевизионные антенны; Радио № 4, 1961.
Двойные зигзагообразные антенны; Радио № 8,1961.
Л.17.1.
19. К.Каллемаа (UR2BU): Ультракоротковолновые антенны; Радио № 8,1973.
Л.17.2.
20. К. Харченко: Еще раз о зигзагообразных антеннах; Радио № 11, 1962.
Л.17.3.
21. К Харченко: Высокоэффективные антенны на 430 МГц; Радио № 4, 1966.
Л. 17.4.

22. К. Харченко: Широкополосная телевизионная антенна; Радио № 10, 1967.
Л.16.1.
23. Ю. Кондратьев: Антенна двойной треугольник; Радио № 2, 1974.
Л.24.2.
24. А. Новиков (UA0CAS), А. Бабин (UA0LAQ): Антенна с переключаемой диаграммой направленности; Радио № 6, 1974.
Л.24.3.

Глава 4. Ромбические антенны

Ромбическая антенна является дальнейшим развитием антенны Бевереджа. Читатель, внимательно прочитавший главу о них, понимает, что антенне Бевереджа присущи свои недостатки. Это – малый КПД, сильное влияние земли.

Всё это устранено в ромбической антенне. Ромбическая антенна, как и антенна Бевереджа является антенной бегущей волны. В дальнейшем будем ее называть «Р.А».

1. Переход от антенны Бевереджа к Р.А.

Относительно высокие характеристики антенны Бевереджа (или антенны бегущей волны-АБВ) при минимальных затратах на ее изготовление, послужили причиной попыток ее использования и в УКВ - диапазоне. Но УКВ антенны должны быть приподняты над землей для повышения дальности связи.

Простое поднятие АБВ над землей приводит к тому, что провод, который ранее был «земляным», тоже начинает излучать (рис.1). КПД антенны в таком случае должен увеличиться примерно вдвое.

Приподняв антенну Бевереджа над землей, мы получили разные высоты под проводниками h_1 и h_2. Такое расположение дает нам рассимметрирование антенны и искажение ее диаграммы направленности. Очевидный путь исправления такого положения – параллельное расположение проводников относительно земли (рис.2).

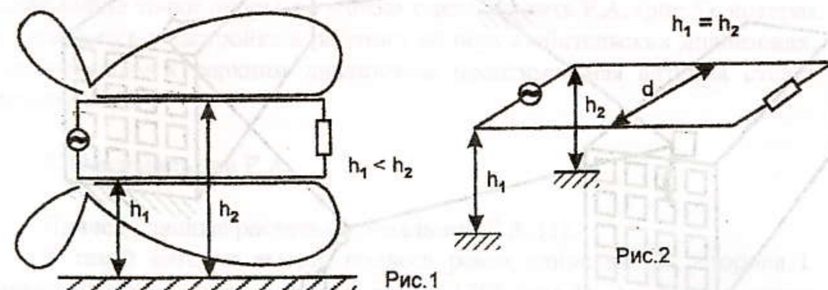


Рис.1

Рис.2

Чем выше над землей будет поднята антенна, тем меньше будет влияние земли на работу антенны. На практике доказано, что высота подвеса около длины волны уже почти полностью исключает влияние

земли. Значит, подняв антенну, мы еще более увеличим ее КПД. Но то, что возможно на УКВ, в диапазоне КВ и СВ не всегда возможно, поэтому в этих диапазонах волн Р.А. подвешивается на той высоте, которую можно реально обеспечить для эффективной работы антенной системы.

Очевидно, что, выполнив антенну точно по рис.2, мы получим точки перегиба, где будет резко меняться волновое сопротивление антенны. Это может вызвать повышенный КСВ.

Но для увеличения интенсивности излучения ЭМВ необходимо увеличивать расстояние d между проводами полотна антенны.

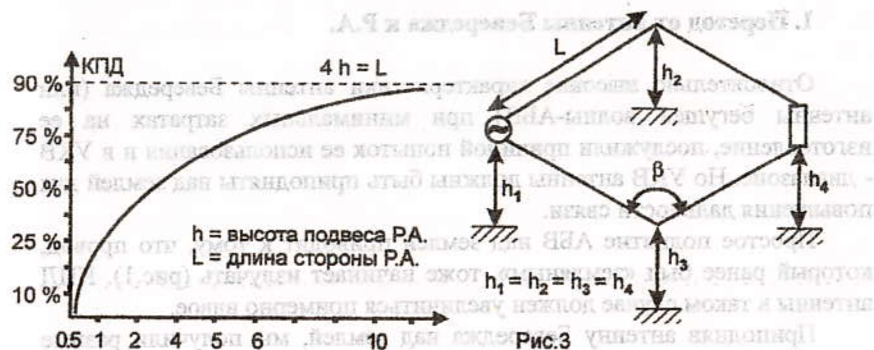
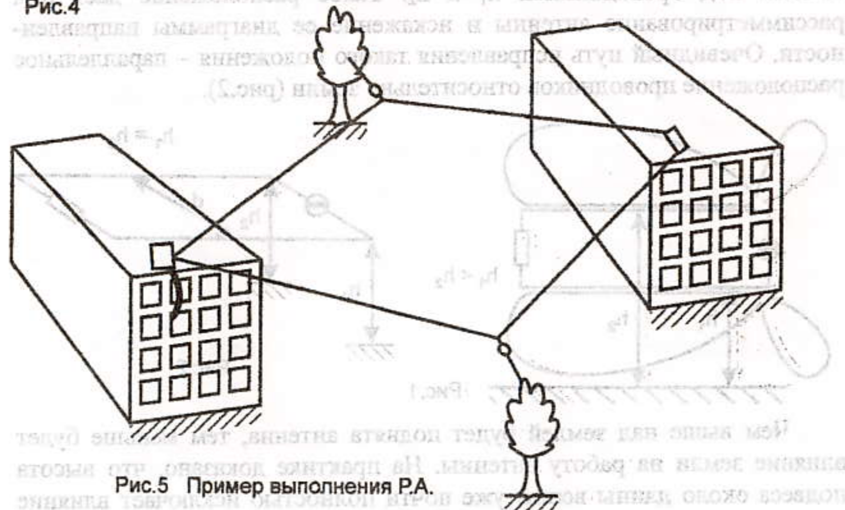


Рис.4

Рис.3


Рис.5 Пример выполнения Р.А.

Из этого логически вытекает построение ромбической антенны как показано на рис.3. Это антенна, поднятая над землей на значительную высоту и образующая ромб. Она имеет коэффициент усиления и КПД гораздо выше антенны Бевереджа.

Исходя из реальных условий, которые обычно существуют при установке радиолюбительских антенн, ниже рассмотрим два варианта выполнения ромбических антенн – оптимальный и неоптимальный.

2. Неоптимальная ромбическая антенна.

Неоптимальная ромбическая антенна – это антенна, сторона ромба которой меньше половины длины волны и высота подвеса меньше четверти длины волны.

Скорее всего, именно такую антенну Вы сможете использовать на 160 и 80 метров. Входное сопротивление такой антенны все равно будет равно примерно 600 Ом. Неоптимальность ее заключается в том, что она будет иметь КПД около 10-20%, т.е. почти 80% мощности передатчика будет рассеиваться на нагрузочном резисторе. Угол излучения ЭМВ в вертикальной плоскости будет более 45°. В то же время эта антенна будет иметь подавление заднего лепестка не менее 10 децибел. Являясь неоптимальной, Р.А. на 160 и 80 метров эта антенна работает все равно эффективнее подвешенных на такой же высоте диполей, которые и необходимо настраивать и низких штырей, имеющих КПД в этих диапазонах на порядок ниже, чем Р.А.

Поэтому, если Вы имеете достаточное количество провода и подходящие точки опоры, то можно смело ставить Р.А. (рис.5), которая не нуждается в настройке и работает во всех любительских диапазонах. При переходе к верхним диапазонам неоптимальная антенна станет оптимальной.

3. Оптимальная Р.А.

Приведу данные расчета оптимальной Р.А. (1).

В такой антенне высота подвеса равна длине волны, сторона L равна 4 длинам волн, а угол β равен 120° (рис.3). Антенна с этими данными имеет подавление заднего лепестка не менее 20 децибел, угол излучения к горизонту в вертикальной плоскости не более 15°. Рекомендуемое сопротивление нагрузки составляет около 400 Ом. КПД

такой антенны может достигать 90 %. При переходе к меньшим длинам волн характеристики антенны почти не меняются.

Понятно, что антенна для десятиметрового диапазона со стороной L длиной 40 метров и высотой подвеса равной высоте пятиэтажного дома 20 метров будет неоптимальной на 160 и 80 метров, но иметь уже очень хорошие параметры на 40- и 20-метровом диапазоне и превосходные параметры на остальных верхних диапазонах.

4. КПД, мощность.

На рис.4 показан рассчитанный мной КПД для ромбической антенны, приведенной на рис.3.

Поскольку в Р.А. существует режим бегущей волны и, вследствие этого, возможно ее оптимальное согласование с кабелем, она может выдержать большие мощности, подводимые к ней. Например, при выполнении такой антенны из провода диаметром 4-6 мм, она может выдержать мощность, подводимую к ней в 600-800 киловатт. Необходимо лишь так выбрать нагрузку, чтобы она выдержала мощность, рассеиваемую на ней. Для повышения КПД Р.А. Б.В. Брауде предложил ромбическую антенну с плавной трансформацией сопротивления. Формула для КПД АБВ (см. раздел «Антенна Бевереджа»), верна и для Р.А. Из нее видно, что еще один путь к повышению КПД антенны- это уменьшение сопротивления нагрузки. Но для подавления заднего лепестка необходимо согласование волнового сопротивления Р.А. с нагрузочным, а при больших расстояниях между проводами полотна волновое сопротивление равно около 600 Ом. В антенне Б.В. Брауде волновое сопротивление плавно трансформируется от высокого значения к низкому (рис.6).

Благодаря этому на конце нагрузки волновое сопротивление получается низким, уменьшается и среднее сопротивление антенны. Уменьшение сопротивления антенны, кроме увеличения ее КПД, позволяет также увеличить и КПД согласующих устройств. Недостатком такой антенны является то, что ее можно использовать только для работы в одном направлении.

Рекомендации по выбору и размещению нагрузки приведены в главе, посвященной антенне Бевереджа. Но в антенне Бевереджа нагрузка легко доступна, а в Р.А. она может быть труднодоступной при расположении ее прямо у полотна антенны. Для обеспечения доступа

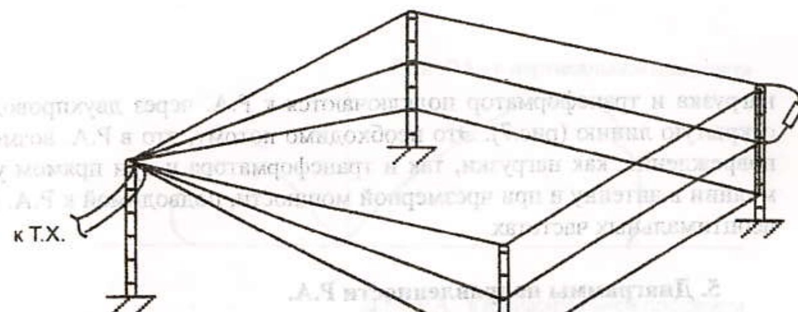


Рис.6

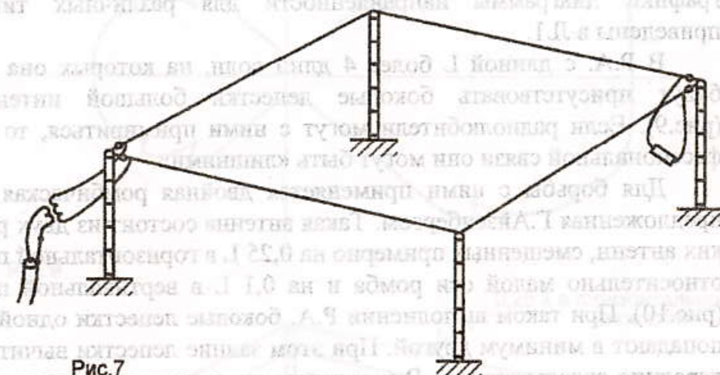


Рис.7



Рис.8

нагрузка и трансформатор подключаются к Р.А. через двухпроводную открытую линию (рис.7). Это необходимо потому, что в Р.А. возможно повреждение, как нагрузки, так и трансформатора и при прямом ударе молнии в антенну и при чрезмерной мощности, подводимой к Р.А. на ее неоптимальных частотах.

5. Диаграммы направленности Р.А.

Упрощенный график диаграммы направленностей в вертикальной плоскости для Р.А., показанной на рис.3, приведен на рис.8. Подробные графики диаграммы направленности для различных типов Р.А. приведены в Л.1.

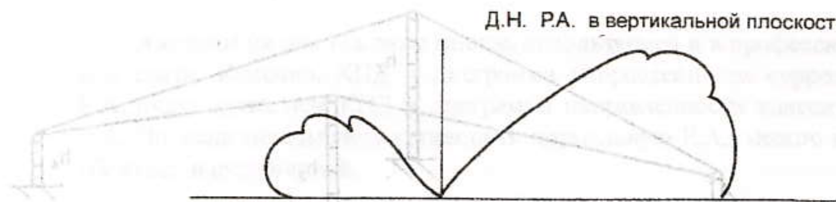
В Р.А. с длиной L более 4 длин волн, на которых она работает, будут присутствовать боковые лепестки большой интенсивности (рис.9). Если радиолюбители могут с ними примириться, то для профессиональной связи они могут быть «лишними».

Для борьбы с ними применяется двойная ромбическая антенна, предложенная Г.Айзенбергом. Такая антенна состоит из двух ромбических антенн, смещенных примерно на 0,25 L в горизонтальной плоскости относительно малой оси ромба и на 0,1 L в вертикальной плоскости (рис.10). При таком выполнении Р.А. боковые лепестки одной антенны попадают в минимум другой. При этом задние лепестки вычитающие, а передние складывающие. В результате этого уровень задних лепестков снижается, а передних возрастает. КПД двойной антенны несколько выше, чем одиночной.

В любительских условиях, двойную Р.А. выполнять нецелесообразно. Для переключения диаграммы направленности «вперед-назад» можно использовать способы, приведенные в главе об антенне Бевереджа.

6. Суррогатные ромбические антенны.

Если невозможно использовать ромб, поднятый на одинаковую высоту, для полотна Р.А., то можно использовать и суррогатные Р.А. Необходимо лишь, чтобы минимальная высота подвеса сторон Р.А. была не менее одного метра, на концах питания и нагрузки антенна «сходилась», а в середине расширялась. Тупой угол β (рис.3) не должен превышать 120°. Примеры суррогатных антенн приведены на рис.11.



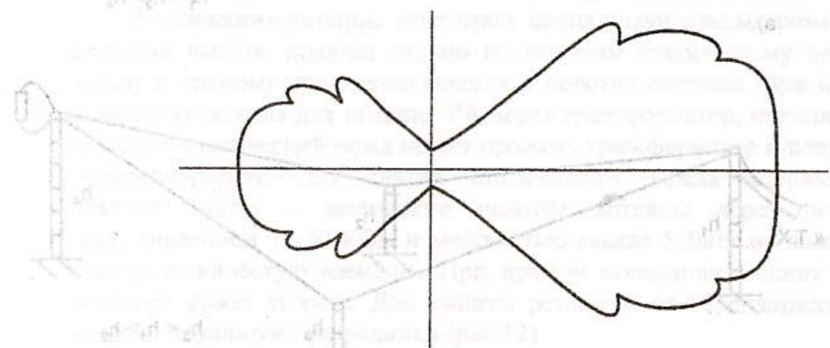


Рис.9

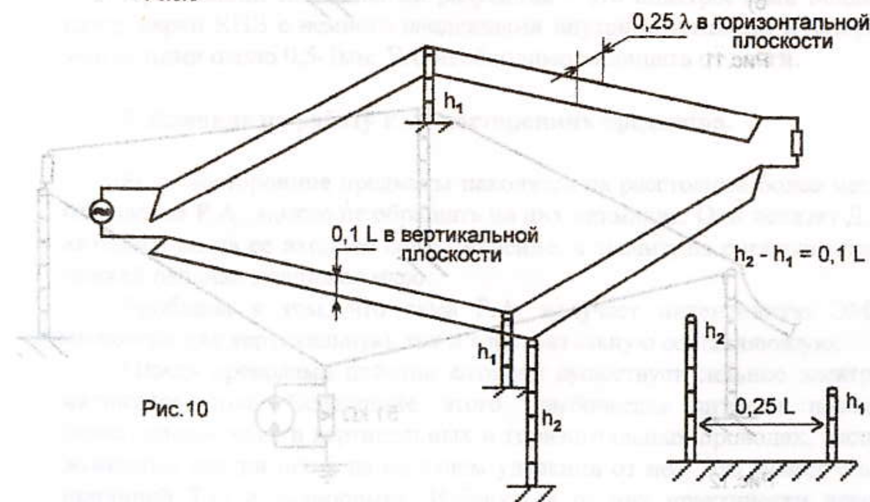
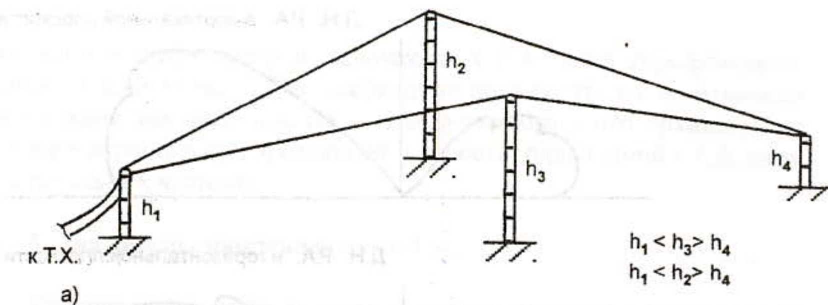


Рис.10



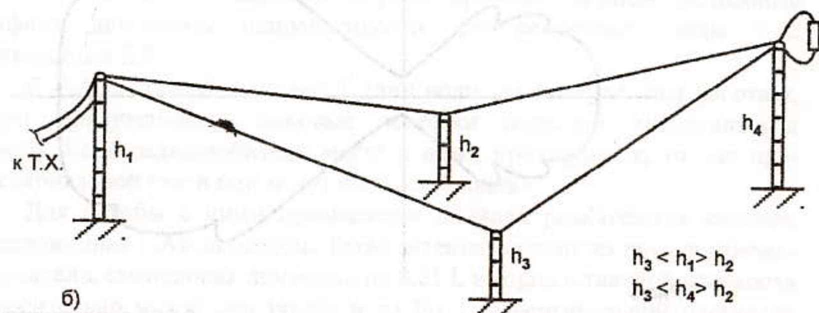


Рис.11

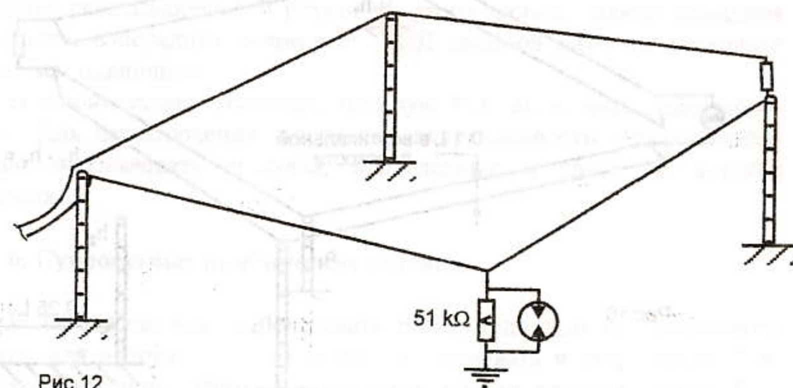


Рис.12

Антенны на рис.11а даже иногда используются и в профессиональной связи. Конечно, КПД и диаграмма направленности суррогатных Р.А. будут хуже, чем КПД и диаграмма направленности классической Р.А. Но, если невозможно установить нормальную Р.А., можно вполне обойтись и суррогатной.

7. Грозозащита Р.А.

Ромбические антенны вследствие своих значительных размеров и большой высоты подвеса сильно подвержены статическому электричеству и прямому попаданию молнии в полотно антенны. При использовании коаксиала для питания РА через трансформатор, накопленный антенной статический заряд может прожечь трансформатор и повредить радиоаппаратуру. Для снятия статического заряда используются обычные меры – заземление полотна антенны через резистор сопротивлением 10-50 КОм и мощностью свыше 5 Ватт на надежную электротехническую «землю». При прямом попадании молнии такой резистор может сгореть. Для защиты резистора от перенапряжения в антенне используют разрядники (рис.12).

Простейший самодельный разрядник – это подстроечный конденсатор марки КПВ с немного введенными внутрь пластинами и зазором между ними около 0,5-1мм. Его необходимо защищать от влаги.

8. Влияние на работу Р.А. посторонних предметов.

Если посторонние предметы находятся на расстоянии более метра от полотна Р.А., можно не обращать на них внимание. Они исказят Д.Н. антенны, но на ее входное сопротивление, а значит, на согласование с линией питания повлияют мало.

Проблема в том, что сама Р.А. излучает интенсивную ЭМВ, имеющую как вертикальную, так и горизонтальную составляющую.

Между проводами полотна антенны существует сильное электромагнитное поле. Вследствие этого ромбическая антенна наведет значительные токи в вертикальных и горизонтальных проводах, расположенных внутри нее и на большом удалении от нее. Это может стать причиной TVI и радиопомех. Избавиться от них практически невозможно. Посторонняя антенна, находящаяся внутри полотна Р.А. будет работать плохо. Это относится ко всем типам антенн – и к штыревым, и

к дипольным, и к рамочным. Лишь в одном случае можно не обращать внимание на внешнюю Р.А. – если расстояние от внутренней антенны до полотна Р.А. не менее длины волны, на которой работает внутренняя антенна. Можно попытаться уменьшить влияние внешней Р.А. на внутреннюю антенну путем подключения к фидеру питания Р.А. емкости, индуктивности и комбинации того и другого, так как это рекомендовалось в главе, посвященной магнитным антеннам.

Исходя из вышеизложенного, лучшим местом размещения Р.А. будет свободное от посторонних предметов пространство, и желательно свободное пространство в главном лепестке ее диаграммы направленности.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Г.З. Айзенберг
Коротковолновые антенны
М. Радио и связь. 1985.

Часть 2. Малоизвестные антенны.

Глава 1. Антенна Бевереджа.

Антенна Бевереджа или, как ее еще называют, антенна бегущей волны (АБВ) широко используется в профессиональной радиосвязи и в странах бывшего СССР и за рубежом. По некоторым причинам антенна Бевереджа имеет несколько имен, используемых в разных странах, но в этой работе она будет называться АБВ, антенна бегущей волны.

Радиолюбителям нашей страны эта антенна малоизвестна, а те, кто знает о ней, часто строят, и используют неправильно, получая разочаровывающие результаты при ее эксплуатации. Но следует относиться к этой антенне с уважением. Если Вы не смогли ее правильно использовать, нужно проанализировать свои ошибки, и устранить их.

Антенна Бевереджа имеет большие возможности, как на прием, так и на передачу. Большинство трансокеанских QSO на 160 метров радиолюбители проводят, используя антенну Бевереджа на приемном конце. Если мы откроем инструкцию к радиостанции Р126, то узнаем, что при использовании четвертьволнового штыря дальность связи между двумя однотипными радиостанциями составляет 2 км, при использовании АБВ – 4-5 км.

Для радиостанции Р105 дальность связи при использовании штыревой четвертьволновой антенны составляет 6 км, при использовании АБВ – до 25 км. Эти радиостанции работают в УКВ (6-4 м) диапазоне. Надеюсь, эти цифры, неоднократно проверенные военными, убедят даже самых закоренелых противников антенны Бевереджа в том, что в ней «действительно что-то есть».

Только антенна Бевереджа при минимальных затратах на ее изготовление может работать без перестройки во всех любительских диапазонах и абсолютно не нуждаясь в настройке при смене диапазонов работы. Эта ее особенность привлекает не только радиолюбителей, но и любителей дальнего приема вещательных станций.

1. Идеальная антенна Бевереджа .

Классическая АБВ представляет собой тонкий провод длиной, большей в несколько раз длины волны, на которой работает антенна,

нагруженный на сопротивление, равное волновому (рис.1) сопротивлению линии, образованной проводниками: антенна-земля. Высота подвеса АБВ составляет от 1 до 5 м, в зависимости от диапазона частот, в котором она используется.

Входное сопротивление АБВ высоко, и равно волновому сопротивлению линии, образованной проводом, составляющим полотно антенны и землей, играющей роль второго провода. Рассчитав значение волнового сопротивления проводника диаметром 1-2 мм получим, что уже начиная с высоты около 1 метра и выше (до 5-10 м) его волновое сопротивление составит примерно 400-600 Ом. Это весьма важный результат. Нет необходимости при подвесе АБВ соблюдать всюду равную высоту подвеса. В зависимости от местных условий, при работе в экспедиции, например, она может быть растянута на кустах, деревьях, кольях. Стационарная антенна Бевереджа также может варьировать высотой подвеса.

Следует помнить, что на 160 метров эффективно работает антенна с высотой подвеса 3-5 м, а на 10 метровом диапазоне – с высотой подвеса не менее 1 м.

Из этого можно заключить, что АБВ слабо подвержена низкочастотным составляющим атмосферных помех.

Коэффициент усиления АБВ равен:

$$G = K \times (L/\lambda)$$

где G - коэффициент усиления,

K - коэффициент, зависящий от качества изготовления АБВ,

L - длина антенны,

λ - длина волны, на которой работает антенна.

Из этой формулы понятно, что чем длиннее полотно антенны, тем выше ее коэффициент усиления.

Антенна Бевереджа принимает вертикальную поляризованную волну, падающую на нее под небольшим углом. Такие характеристики имеет или поверхностная волна радиостанции, находящейся в пределах радиовидимости, либо волна дальней радиостанции (рис.2).

Максимум приема лежит в плоскости параллельной полотну антенны. Очевидно, что при перпендикулярном падении электромагнитной волны, она просто ничего не наведет в антенне, а при падении под углом, вследствие сложения наведенных в антенне с разными фазами напряжений, последние будут компенсировать друг друга (рис.3).

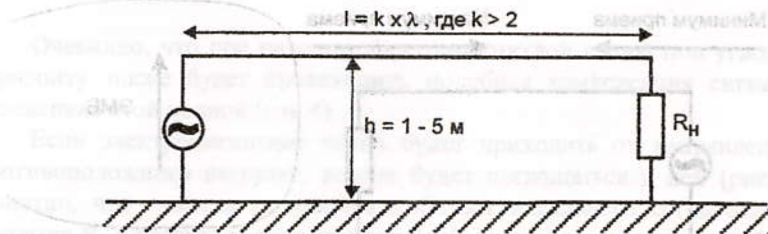


Рис.1

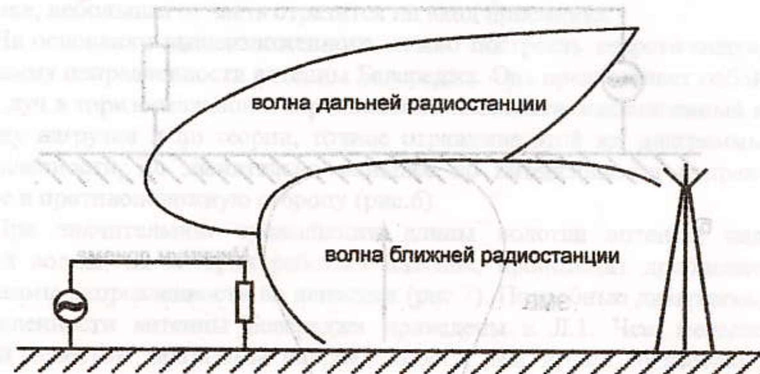


Рис.2

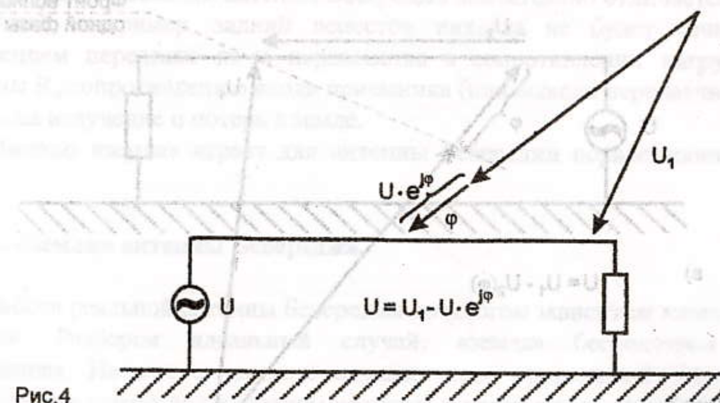


Рис.4

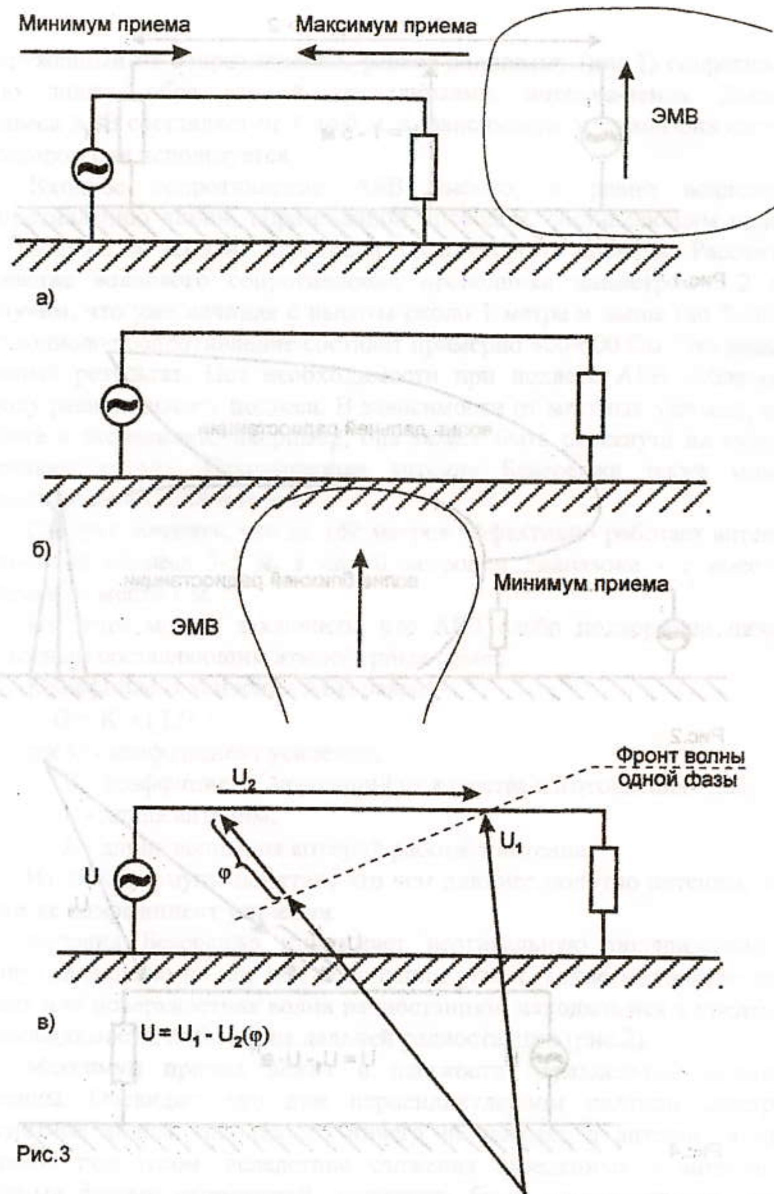


Рис.3

Очевидно, что при падении электромагнитной волны под углом к горизонту также будет происходить подобная компенсация сигнала, наведенная этой волной (рис.4).

Если электромагнитная волна будет приходить от направления, противоположного нагрузке, то она будет поглощаться в ней (рис.5). Понятно, что никогда не удастся добиться идеального согласования нагрузки $R_н$ с волновым сопротивлением полотна антенны, и при работе антенны в ней будут стоячие волны. Это значит, что не вся энергия, падающая на антенну с противоположного конца, поглотится в нагрузке, небольшая ее часть отразится на вход приемника.

На основании вышеизложенного можно построить теоретическую диаграмму направленности антенны Бевереджа. Она представляет собой узкий луч в горизонтальной и вертикальной плоскости, направленный в сторону нагрузки и по теории, точное отражение этой же диаграммы направленности, но значительно меньшее по интенсивности направленное в противоположную сторону (рис.6).

При значительном превышении длины полотна антенны над длиной волны, на которой работает антенна, происходит дробление диаграммы направленности на лепестки (рис.7). Подробные диаграммы направленности антенны Бевереджа приведены в Л.1. Чем меньше задний лепесток диаграммы направленности, тем лучше согласована антенна с нагрузкой.

Но работа реальной антенны Бевереджа значительно отличается от идеальной, например, задний лепесток никогда не будет точным отражением переднего из-за неравенства в сопротивлении нагрузки антенны $R_н$ сопротивлению входа приемника (или выхода передатчика), потерь на излучение и потерь в земле.

Именно «земля» играет для антенны Бевереджа первостепенную роль.

2. «Земля» антенны Бевереджа.

Работа реальной антенны Бевереджа во многом зависит от качества «земли». Разберем идеальный случай: «земля» бесконечная и проводящая. Начнем с частного случая, когда проводящий участок сосредоточен прямо под полотном антенны и равен ему по физическим размерам. На практике это означает то, что нами проложен провод от нагрузки к генератору, лежащий на плохо проводящей земле (рис.8).

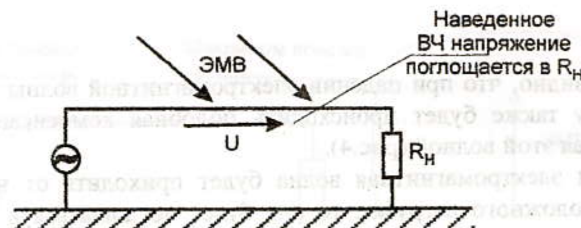
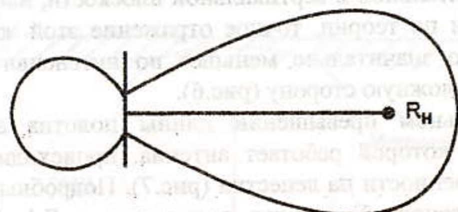


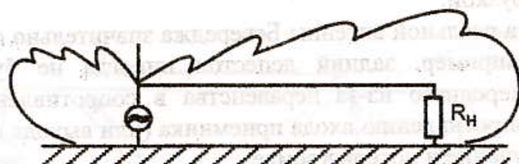
Рис.5

а) Д.Н. в вертикальной плоскости



б) Д.Н. в горизонтальной плоскости

Рис.6



а) реальная Д.Н. в вертикальной плоскости

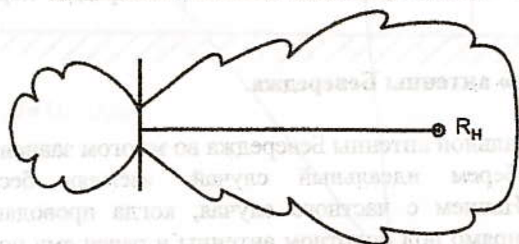


Рис.7

б) реальная Д.Н. в горизонтальной плоскости

Очевидно, при этом ток в полотне антенны будет почти равен току в «земляном» проводе. Электромагнитное поле будет взаимодействовать в основном только с двумя проводами – верхним и нижним.

Если мы проложим несколько «земляных» проводов, то также очевидно, что ток I_i равен сумме токов I_n (рис.9). Также очевидно, что максимальный ток будет протекать в противовесе n_2, а в остальных противовесах токи будут меньше.

На практике, если рассчитывают использовать антенну Бевереджа на передачу, то для эффективной работы прокладывают не менее 3 противовесов. Один – под полотном антенны, и два других – по краям от него на расстоянии равном от половины высоты подвеса до высоты подвеса полотна антенны (рис.10).

Для эффективной работы этих противовесов они должны быть подняты над землей на небольшую высоту (5-10 см) или, при обеспечении их защиты от коррозии, лежать на земле или их можно закопать на глубину не более 10 см.

При использовании антенны Бевереджа как приемной антенны «земле» не уделяют столь большого внимания. Обычно на приемных центрах используют 10-30 противовесов длиной около 0,1 от длины антенны, закопанных на глубину 10 см на конце нагрузки и трансформатора.

Но при этом не экономится провод для противовесов, более того, его расходуется даже больше, чем было бы, если использовать провод, проложенный под антенной Бевереджа, и в некоторых случаях возрастает шум антенны. Это происходит за счет того, что в нее включаются участки земли, которые могут служить источником шума (рис.11). Обычно трудно определить, что за аномалия является источником шума – это может быть следствием токов, протекающих в земной коре, может быть также обусловлено действием промышленности (воздушные ЛЭП, подземные линии электропередач и т.д.).

Если на приемных радиоцентрах выбирают местности, где таких воздействий нет, то в Вашем случае возможно, QTH находится там, где и расположен такой источник шума. Кстати, такой источник шума иногда бывает настолько интенсивным, что иногда забивает своим белым шумом приемник. В таком месте из-за шумов с трудом принимаются слабые сигналы радиостанции, но отнеся приемник на несколько сот метров в любую из сторон, качество приема во всех диапазонах значительно улучшается из-за снижения уровня шума. Антенна Бевереджа

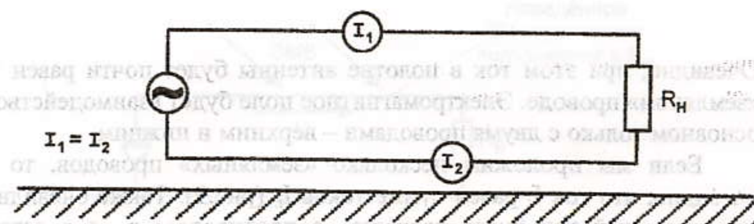


Рис.8

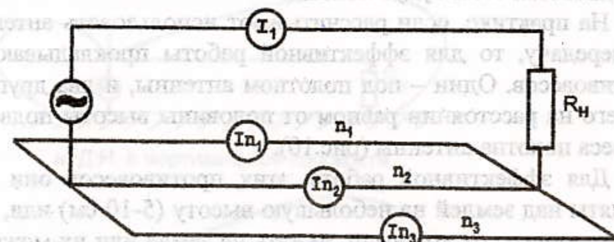


Рис.9 n - количество противовесов

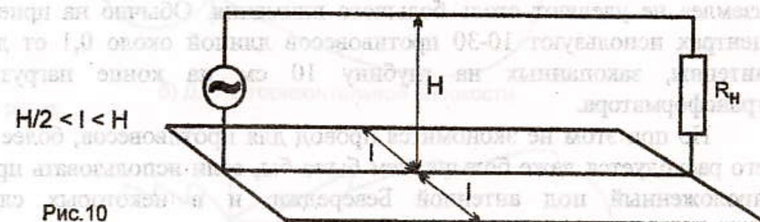


Рис.10



Рис.11

наиболее подвержена воздействию таких шумовых источников, особенно без «земляного» провода под ней.

На передачу такая антенна (рис.11) будет работать неудовлетворительно. Это связано с тем, что в цепь антенны включено сопротивление земли R_3, которое в общем случае сравнимо с волновым сопротивлением антенны. R_3 уменьшает КПД антенны. При использовании антенны Бевереджа на прием это не страшно, так как обычно приемники имеют запас по усилению. Понятно, что при работе на передачу КПД является главнейшим показателем антенны. Надо еще знать, что реальное сопротивление «земли» во многих случаях не линейно, т.е. зависит от величины высокочастотного тока, протекающего в ней. Это может вызвать изменение параметров антенны в зависимости от мощности, подводимой к ней. Очевидно, что при SSB сигнале параметры антенны могут меняться в зависимости от его пиков, что может ухудшить работу выходного каскада и вызвать искажение излучаемого антенной SSB сигнала.

Не следует забывать и о том, что почва в России может промерзать зимой на значительную глубину. Это существенно снизит эффективность антенны Бевереджа.

Но часто по многим причинам трудно или нецелесообразно использовать «земляной» провод под полотном антенны. В этом случае используют так называемую «лучевую антенну», которую мы рассмотрим ниже.

3. Использование в качестве «земли» четвертьволновых противовесов.

«Лучевая» антенна, используемая для работы на радиостанциях типа Р105, изображена на рис.12. Она представляет собой провод длиной L, где L составляет около десяти длин волны, на которой работает радиостанция, к которой через резистор 400 Ом подключено несколько противовесов длиной в четверть волны. Несколько таких же противовесов подключено и к корпусу радиостанции.

Ток в такой антенне протекает за счет токов смещения в пространстве между противовесами (рис.13). Ток в почве в этом случае не играет большой роли, даже если земля идеальный проводник.

В части, описывающей штыревые антенны (п.12) приведены значения сопротивления четвертьволновых противовесов. Этот параграф

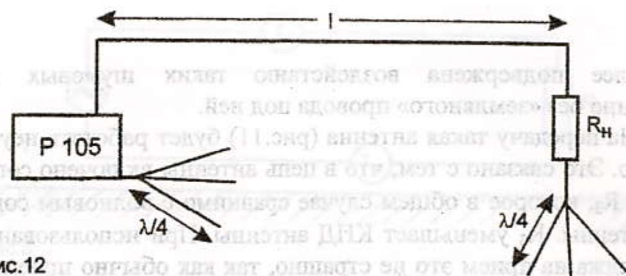


Рис.12

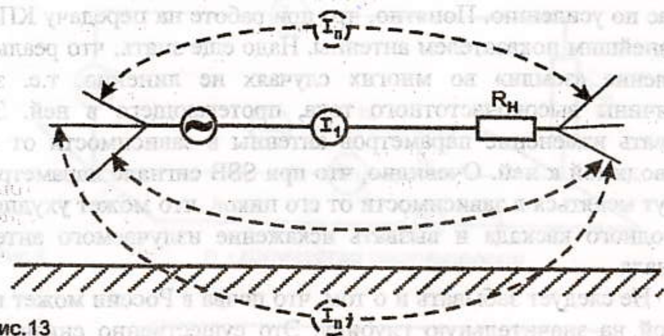


Рис.13



Рис.14

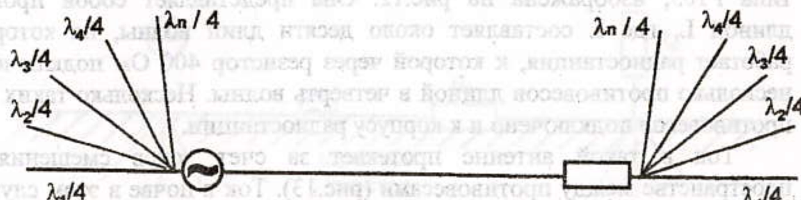


Рис.15

верен и для антенны Бевереджа. Тогда можно представить эквивалентную схему, антенны как показано на рис.14. Для увеличения КПД нужно стремиться к уменьшению сопротивления системы противовесов. При волновом сопротивлении антенны 400-600 Ом желательно использовать не менее 2 противовесов на стороне нагрузки и стороне питания.

При использовании антенны Бевереджа в разных диапазонах необходимо для каждого диапазона использовать не менее 2 противовесов длиной в четверть волны (рис.15).

Антенна Бевереджа с четвертьволновыми противовесами уже не является классической антенной Бевереджа, но параметры такой антенны совпадают с параметрами антенны Бевереджа.

4. Нагрузка антенны Бевереджа.

Примерно от 50 до 30 % мощности передатчика рассеивается в нагрузке. Исходя из этого, нагрузочный резистор должен обеспечивать такую мощность рассеивания. Крайне важно, чтобы он был безиндукционным.

При конструировании передающих антенн Бевереджа я использовал резисторы типа МЛТ-2 большого сопротивления (30-18 кОм), соединенных в параллель.

Конструктивно они располагались как в кольцо, так и в линию (рис.16). При таком построении можно использовать только покраску такой нагрузки прочным лаком для защиты от атмосферных воздействий. При попадании на нагрузку влаги, она высохнет при работе антенны на передачу или днем под солнцем и ветром. Желательно исключить прямое попадание дождя на такую нагрузку, т.е. разместить ее под какой-либо крышкой. Обычно для антенны Бевереджа используют нагрузку около 300-600 Ом. Точно установить волновое сопротивление антенны трудно и на практике это можно сделать лишь изменением нагрузки и измерением при этом КСВ антенны.

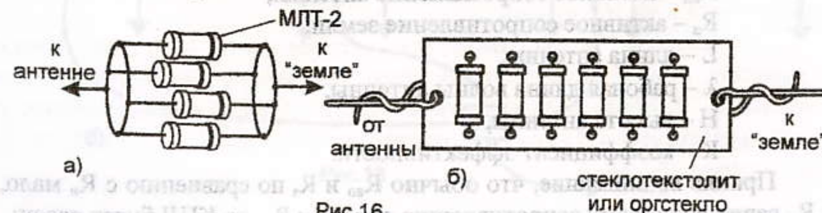


Рис.16

5. Длина антенны Бевереджа.

Выше было сказано, что коэффициент усиления антенны Бевереджа зависит от ее длины, но лучшие результаты получаются, когда длина антенны кратна нечетному количеству длин полуволн:

$L = n \times \lambda/2$

где L - длина антенны,

n - целое, нечетное,

$\lambda/2$ - рабочая длина волны радиостанции.

Для успешной работы длина антенны Бевереджа должна быть не менее длины волны, на которой работает передатчик.

6. КПД антенны Бевереджа.

Коэффициент полезного действия определяет эффективность антенны как преобразователя ВЧ энергии передатчика в энергию электромагнитной волны при передаче и, наоборот, ЭМВ в ВЧ-мощность сигнала при приеме.

Рассмотрим КПД передающей антенны. Согласно теории взаимности параметры антенны одинаковы, работает она на прием или на передачу.

Рассмотрим, где происходят потери энергии.

Во-первых, это в $R_н$ (рис.17). происходят потери на активном сопротивлении провода полотна, антенны $R_{ап}$. Во-вторых, потери происходят в «земляном» проводе под полотном антенны Бевереджа. Чем длиннее антенна, тем интенсивнее излучение. Увеличить интенсивность излучения можно, так же подняв антенну Бевереджа над землей. На основе этого, КПД примерно можно определить по формуле :

$$КПД = (1/(R_н+R_{ап}+R_з)) \times (L/\lambda) \times (H/\lambda^3) \times K$$

где $R_н$ – сопротивление нагрузки антенны,

$R_{ап}$ – активное сопротивление антенны,

$R_з$ – активное сопротивление земли,

L – длина антенны,

λ – рабочая длина волны антенны,

H – высота антенны,

K – коэффициент эффективности.

Приняв во внимание, что обычно $R_{ап}$ и $R_з$ по сравнению с $R_н$ мало, а $R_н$ равно волновому сопротивлению антенны R_w, то КПД будет равен:

$$КПД = (1/R_w) \times (L/\lambda) \times (H/\lambda^3) \times K$$

Величина K зависит от многих параметров, в том числе, от длины L и высоты H. В общем случае, радиолюбителями задача нахождения КПД может быть выполнена лишь качественно.

КПД антенны на рис.13 можно также определить по выведенной здесь формуле.

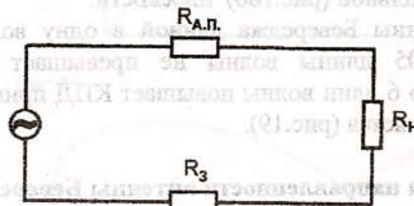
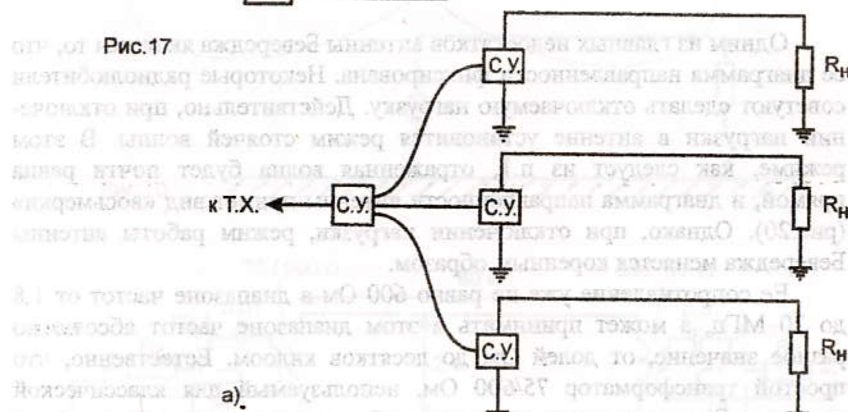


Рис.17



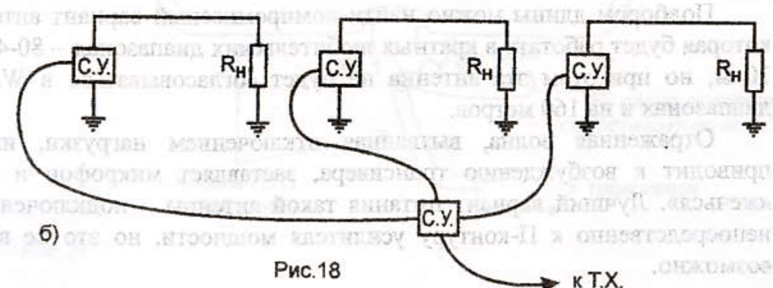


Рис.18

Для повышения КПД антенны Бевереджа используют параллельное включение полотен. Располагают их при этом как параллельно, так и последовательно (рис.18). Цифрой 1 обозначено согласующее устройство антенны.

При расположении антенн так, как показано на рис.18 происходит и сложение их диаграммы направленности соответственно в горизонтальной (рис.18а) или в вертикальной (рис.18б) плоскости.

Для справки, КПД антенны Бевереджа длиной в одну волну с высотой подвеса около 0,005 длины волны не превышает 10%. Увеличение длины антенны до 6 длин волны повышает КПД примерно до 40%, затем рост КПД замедляется (рис.19).

7. Изменение диаграммы направленности антенны Бевереджа.

Одним из главных недостатков антенны Бевереджа является то, что ее диаграмма направленности фиксирована. Некоторые радиолюбители советуют сделать отключаемую нагрузку. Действительно, при отключении нагрузки в антенне установится режим стоячей волны. В этом режиме, как следует из п.1, отраженная волна будет почти равна прямой, и диаграмма направленности антенны примет вид «восьмерки» (рис.20). Однако, при отключении нагрузки, режим работы антенны Бевереджа меняется коренным образом.

Ее сопротивление уже не равно 600 Ом в диапазоне частот от 1,8 до 30 МГц, а может принимать в этом диапазоне частот абсолютно разное значение, от долей Ом до десятков килоом. Естественно, что простой трансформатор 75/600 Ом, используемый для классической антенны Бевереджа, при отключенной нагрузке использоваться не может.

Подбором длины можно найти компромиссный вариант антенны, которая будет работать в кратных любительских диапазонах – 80-40-20-10 м, но при этом эта антенна не будет согласовываться в WARC-диапазонах и на 160 метров.

Отраженная волна, вызванная отключением нагрузки, иногда приводит к возбуждению трансивера, заставляет микрофон и ключ «жечься». Лучший вариант питания такой антенны – подключение ее непосредственно к П-контуру усилителя мощности, но это не всегда возможно.

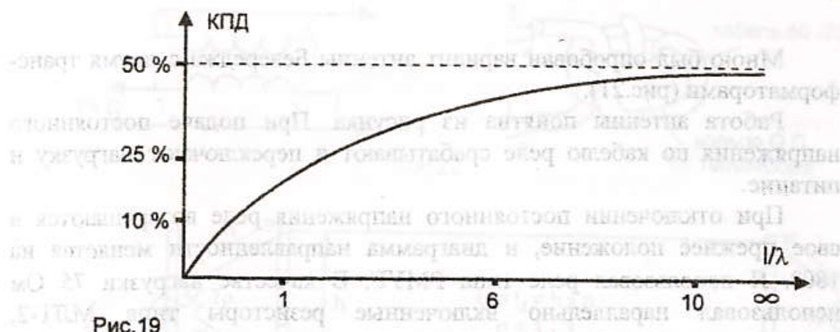


Рис.19

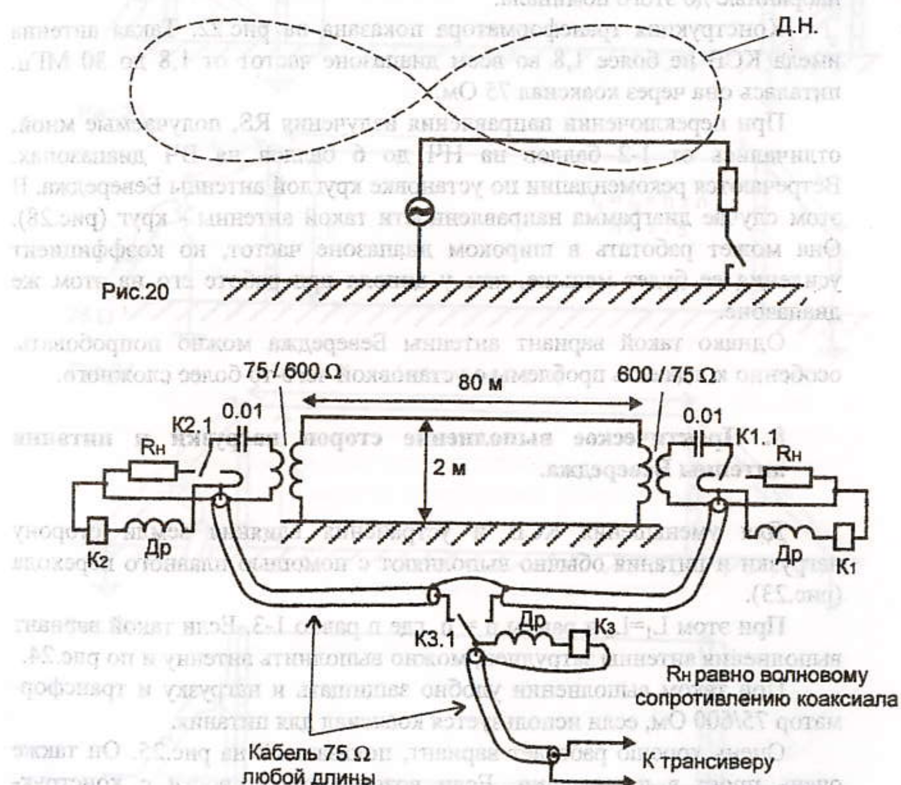


Рис.21

Мною был опробован вариант антенны Бевереджа с двумя трансформаторами (рис.21).

Работа антенны понятна из рисунка. При подаче постоянного напряжения по кабелю реле срабатывают и переключают нагрузку и питание.

При отключении постоянного напряжения реле возвращаются в свое прежнее положение, и диаграмма направленности меняется на 180°. Я использовал реле типа РМУГ. В качестве нагрузки 75 Ом использовал параллельно включенные резисторы типа МЛТ-2, набранные до этого номинала.

Конструкция трансформатора показана на рис.22. Такая антенна имела КСВ не более 1,8 во всем диапазоне частот от 1,8 до 30 МГц. питалась она через коаксиал 75 Ом.

При переключении направления излучения RS, получаемые мной, отличались от 1-2 баллов на НЧ до 6 баллов на ВЧ диапазонах. Встречаются рекомендации по установке круглой антенны Бевереджа. В этом случае диаграмма направленности такой антенны - круг (рис.28). Она может работать в широком диапазоне частот, но коэффициент усиления ее будет меньше, чем у диполя при работе его на этом же диапазоне.

Однако такой вариант антенны Бевереджа можно попробовать, особенно когда есть проблемы с установкой чего-то более сложного.

8. Практическое выполнение сторон нагрузки и питания антенны Бевереджа.

Для уменьшения КСВ и устранения влияния земли сторону нагрузки и питания обычно выполняют с помощью плавного перехода (рис.23).

При этом L_1=L_2 и равны n = h, где n равно 1-3. Если такой вариант выполнения антенны затруднен, можно выполнить антенну и по рис.24.

При таком выполнении удобно защищать и нагрузку и трансформатор 75/600 Ом, если используется коаксиал для питания.

Очень хорошо работает вариант, показанный на рис.25. Он также очень прост в исполнении. Если возникают трудности с конструктивным выполнением антенны по рис. 23-25, можно выполнить антенну, как показано на рис.26. Нагрузку и питание лучше всего подключить в середине мачт.

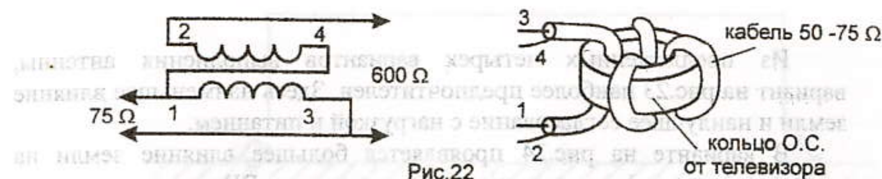


Рис.22

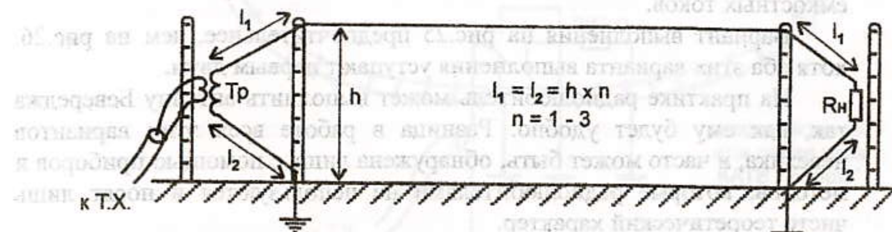


Рис.23

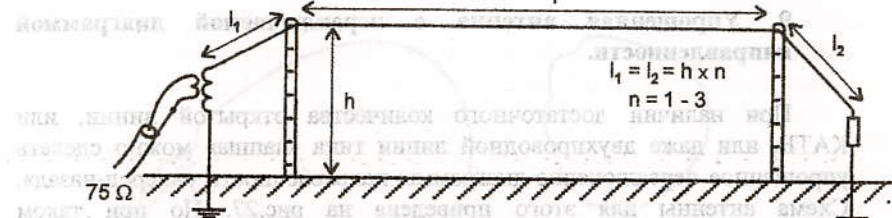


Рис.24

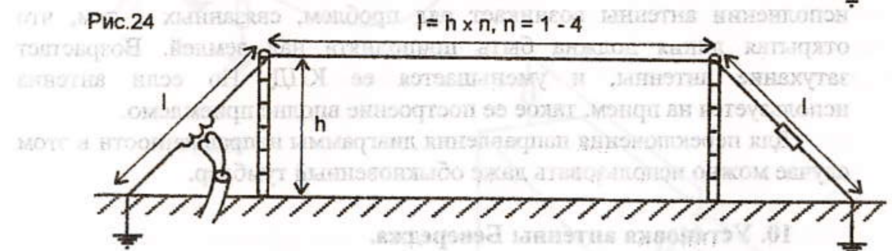
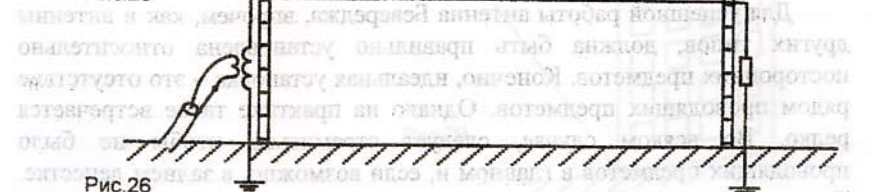


Рис.25


Рис.26

Из предложенных четырех вариантов выполнения антенны, вариант на рис.23 наиболее предпочтителен. Здесь наименьшее влияние земли и наилучшее согласование с нагрузкой и питанием.

В варианте на рис.24 проявляется большее влияние земли на нагрузку и трансформатор, и возможна утечка ВЧ энергии за счет емкостных токов.

Вариант выполнения на рис.25 предпочтительнее, чем на рис.26, хотя оба этих варианта выполнения уступают первым двум.

На практике радиолюбитель может выполнить антенну Бевереджа так, как ему будет удобно. Разница в работе всех этих вариантов невелика, и часто может быть, обнаружена лишь с помощью приборов и методов, которые радиолюбителями не используются и носят лишь чисто теоретический характер.

9. Упрощенная антенна с переключаемой диаграммой направленности.

При наличии достаточного количества открытой линии, или КАТВ, или даже двухпроводной линии типа «лапша» можно сделать упрощенное переключение диаграммы направленности «вперед-назад». Схема антенны для этого приведена на рис.27. Но при таком исполнении антенны возникает ряд проблем, связанных с тем, что открытая линия должна быть приподнята над землей. Возрастает затухание антенны, и уменьшается ее КПД. Но если антенна используется на прием, такое ее построение вполне приемлемо.

Для переключения направления диаграммы направленности в этом случае можно использовать даже обыкновенный тумблер.

10. Установка антенны Бевереджа.

Для успешной работы антенна Бевереджа, впрочем, как и антенны других типов, должна быть правильно установлена относительно посторонних предметов. Конечно, идеальная установка – это отсутствие рядом проводящих предметов. Однако на практике такое встречается редко. Во всяком случае, следует стремиться, чтобы не было проводящих предметов в главном и, если возможно, в заднем лепестке. Так как антенна Бевереджа излучает вертикально поляризованную волну, следует обратить внимание на вертикальные проводящие

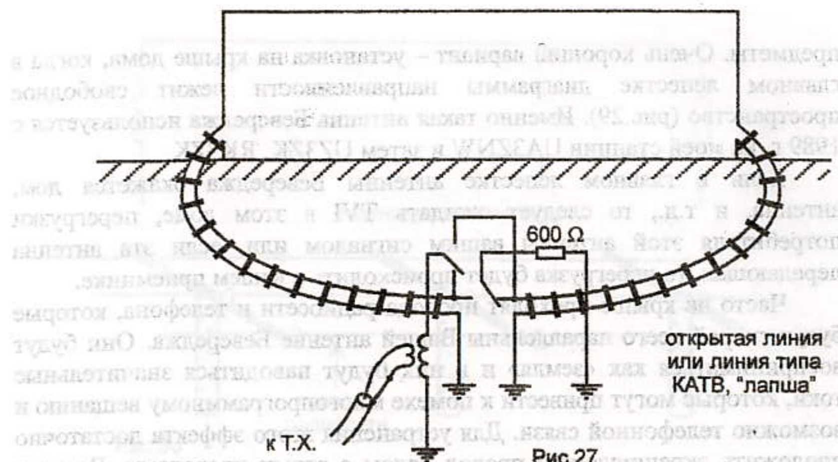
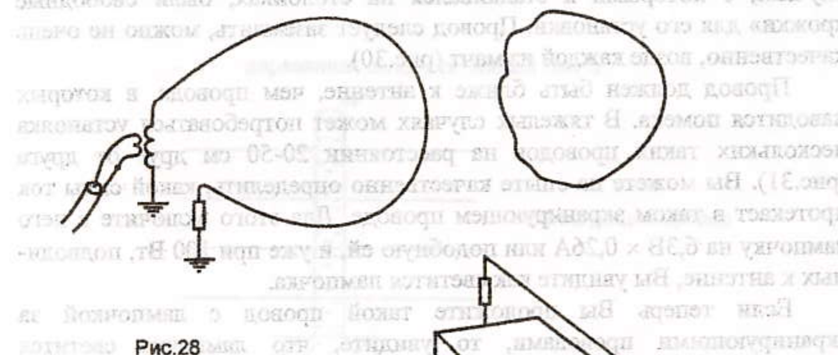
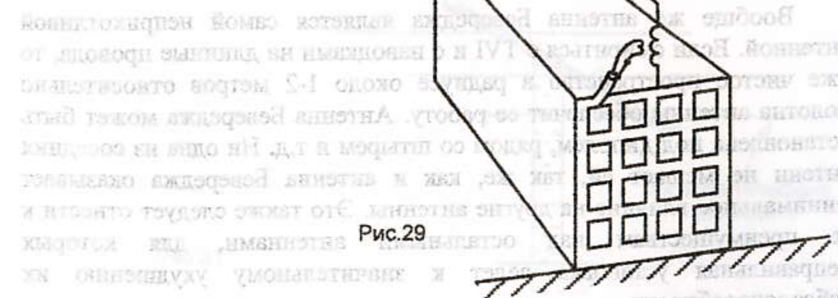


Рис.27


Рис.28


Рис.29

предметы. Очень хороший вариант – установка на крыше дома, когда в главном лепестке диаграммы направленности лежит свободное пространство (рис.29). Именно такая антенна Бевереджа используется с 1989 г. на моей станции UA3ZNW и затем UZ3ZK, RK3ZK.

Если в главном лепестке антенны Бевереджа окажется дом, антенна, и т.д., то следует ожидать TVI в этом доме, перегрузки потребителя этой антенны вашим сигналом или, если эта антенна передающая, то перегрузка будет происходить в вашем приемнике.

Часто на крыше проходят провода радиосети и телефона, которые будут скорей всего параллельны Вашей антенне Бевереджа. Они будут восприниматься как «земля» и в них будут наводиться значительные токи, которые могут привести к помехе многопрограммному вещанию и возможно телефонной связи. Для устранения этого эффекта достаточно проложить экранирующий провод рядом с этими проводами. Во всех случаях, с которыми я сталкивался на столбиках, были свободные «рожки» для его установки. Провод следует заземлить, можно не очень качественно, возле каждой из мачт (рис.30).

Провод должен быть ближе к антенне, чем провода, в которых наводится помеха. В тяжелых случаях может потребоваться установка нескольких таких проводов на расстоянии 20-50 см друг от друга (рис.31). Вы можете на опыте качественно определить, какой силы ток протекает в таком экранирующем проводе. Для этого включите в него лампочку на 6,3В × 0,26А или подобную ей, и уже при 100 Вт, подводимых к антенне, Вы увидите как светится лампочка.

Если теперь Вы проложите такой провод с лампочкой за экранирующими проводами, то увидите, что лампочка светится значительно слабее или не светится совсем.

Вообще же антенна Бевереджа является самой неприхотливой антенной. Если смириться с TVI и с наводками на длинные провода, то уже чистое пространство в радиусе около 1-2 метров относительно полотна антенны обеспечит ее работу. Антенна Бевереджа может быть установлена под диполем, рядом со штырем и т.д. Ни одна из соседних антенн не мешает ей, так же, как и антенна Бевереджа оказывает минимальное влияние на другие антенны. Это также следует отнести к ее преимуществам над остальными антеннами, для которых неправильная установка ведет к значительному ухудшению их работоспособности.

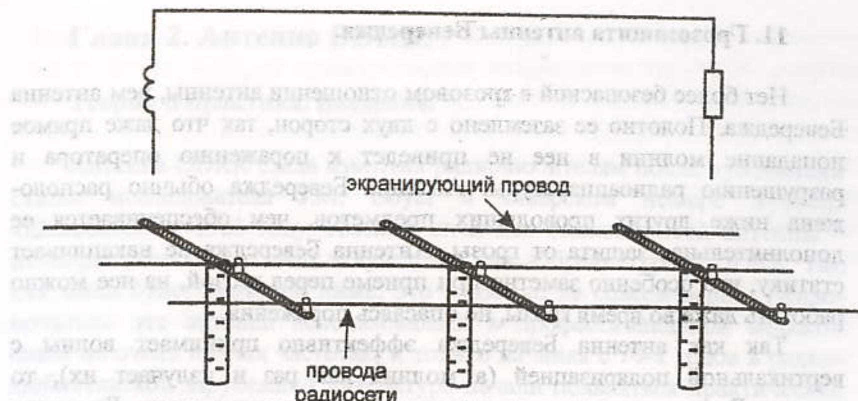


Рис.30

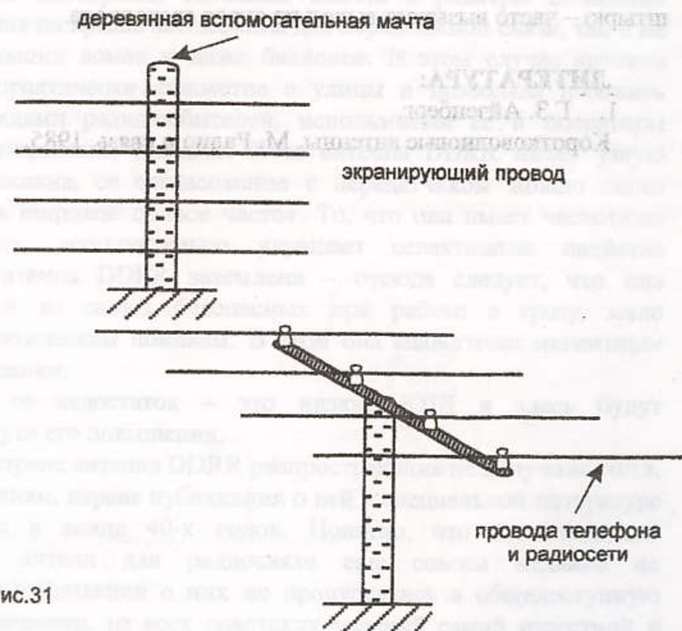


Рис.31

11. Грозозащита антенны Бевереджа.

Нет более безопасной в грозовом отношении антенны, чем антенна Бевереджа. Полотно ее заземлено с двух сторон, так что даже прямое попадание молнии в нее не приведет к поражению оператора и разрушению радиоаппаратуры. Антенна Бевереджа обычно расположена ниже других проводящих предметов, чем обеспечивается ее дополнительная защита от грозы. Антенна Бевереджа не накапливает статику, что особенно заметно при приеме перед грозой, на нее можно работать даже во время грозы, не опасаясь поражения.

Так как антенна Бевереджа эффективно принимает волны с вертикальной поляризацией (а молния как раз и излучает их), то антенну Бевереджа можно использовать как индикатор грозы. Для этого можно подключить к коаксиалу, идущему от нее, светодиод. При приближении грозы он начнет светиться в такт ударам молнии. Подключение же такого светодиода к другой антенне – диполю или штырю – часто вызывает выход из строя светодиода.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Г.З. Айзенберг.
Коротковолновые антенны. М. Радио и связь, 1985.

Глава 2. Антенна DDRR.

Теория и практика. Введение.

Антенна DDRR стала известна радиолюбителям после публикации статьи исследователя J.M. Boyer в январском номере журнала «Electronics» в 1963 году. Именно он и дал название этой антенны – ненаправленный круговой излучатель, или аббревиатура – DDRR. Но, как здесь будет показано ниже, это название не совсем верно. Первоначально эта антенна использовалась в профессиональной морской связи на очень низких частотах, и только начиная с 70-х годов в радиолюбительской зарубежной литературе начали появляться практические конструкции DDRR для любительских диапазонов. Тогда эта антенна и начала завоевывать популярность среди зарубежных радиолюбителей.

Действительно, антенна DDRR имела некоторые преимущества перед другими. Во-первых, ее малая высота и размеры позволяли размещать ее как на крыше автомобиля для передвижной связи, так и на крышах небольших домов и даже балконов. В этом случае антенна DDRR была практически незаметна с улицы и позволяла избежать трений с соседями радиолюбителей, использовали ее и операторы вещательных пиратских станций. Хотя антенна DDRR имеет узкую полосу пропускания, ее согласование с передатчиком можно легко регулировать в широкой полосе частот. То, что она имеет частотную избирательность, дополнительно улучшает селективные свойства приемника. Антенна DDRR заземлена – отсюда следует, что она является одной из самых безопасных при работе в грозу, мало подвержена статическим помехам. В этом она аналогична магнитным рамочным антеннам.

Главный ее недостаток – это низкий КПД и здесь будут рассмотрены пути его повышения.

В нашей стране антенна DDRR распространения не получила, хотя, по моим сведениям, первая публикация о ней в специальной литературе в СССР была в конце 40-х годов. Понятно, что использование малозаметных антенн для радиосвязи еще совсем недавно не поощрялось, и публикации о них не пропускались в общедоступную литературу. Например, из всех советских изданий самой известной в СССР книги К.Ротхаммеля «Антенны» были убраны антенны DDRR, и только в книге З.Беньковского, изданной в СССР в 1983 году,

появились первые открытые для радиолюбителей сведения об этой антенне. Такие антенны иногда использовались в СССР на объектах передвижной связи. Сейчас возникли все предпосылки для использования этой антенны радиолюбителями СНГ. Это развитие гражданской передвижной связи на 27 МГц и возможное скорое разрешение использования для этого и любительских диапазонов. Дефицит места для постановки антенны в городе уже приводит радиолюбителей к мысли «о чем-то малогабаритном».

Надеюсь, что сведения, изложенные ниже, позволят радиолюбителям начать широкие эксперименты с антеннами DDRR.

1. Класс антенн DDRR.

Как уже отмечалось, название антенны не соответствует ее физической сути и отражает только ее внешний вид (рис.1).

Это провод длиной L, равной примерно 0,25 длины волны, размещенный на высоте около 0,01 длины волны над экраном. За счет чего же происходит излучение? Есть несколько теоретических моделей DDRR. Первая – это открытый четвертьволновый резонатор, и излучение происходит за счет его открытости. Вторая модель – это открытая четвертьволновая резонансная рамка над проводящим экраном. Третья – это вертикальная штыревая антенна высотой H с согласующей горизонтальной частью. Наиболее верно теория описывает

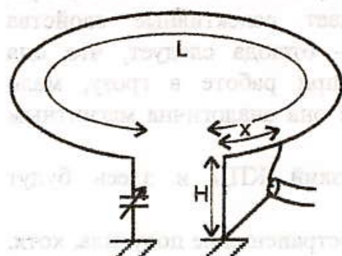


Рис.1

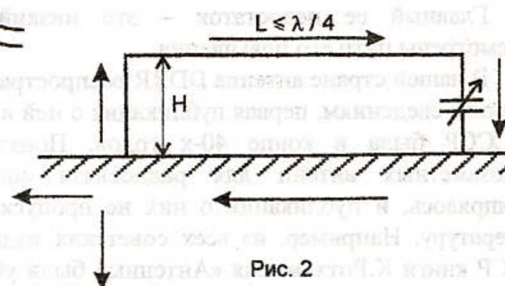


Рис. 2

именно третью модель, хотя некоторые частные моменты теоретически точнее получаются при математическом описании первых двух. Для радиолюбительской практики будем рассматривать именно третью модель, т.к. только она позволит четко объяснить большинство «темных» сторон DDRR.

2. DDRR - вертикальный излучатель.

Итак, как ни странно, DDRR относится к вертикальным антеннам, которые были рассмотрены ранее (1). Здесь короткий штырь высотой H согласован с кабелем и средой с помощью горизонтальной части L (рис.2).

Токи, протекающие в штыре, не компенсируются токами, протекающими в «земле», и излучает именно вертикальная часть. Токи же в горизонтальной части компенсируются зеркальными токами в «земле», и горизонтальная часть не излучает. С помощью конденсатора настраивают антенну в резонанс. Следует заметить, что ток через конденсатор находится в противофазе с током в вертикальной излучающей части антенны, и результатом этого является уменьшение излучения антенны. Отсюда мы можем сделать вывод, что следует стремиться к тому, чтобы настроечный конденсатор был минимально возможной емкости. В этом случае компенсация излучения будет небольшой (рис.3). На практике можно считать, что длина горизонтальной части должна быть не менее 70°. Меньшая длина горизонтальной части уменьшит КПД DDRR.

Из теории известно, что короткий вертикальный вибратор излучает вертикально поляризованную волну под большим углом к горизонту и лишь малую ее часть под малым углом. Следовательно, антенна DDRR максимально пригодна для проведения ближних связей.

Если обратиться к доступным для радиолюбителей источникам (2,3), то можно определить, что значение активного сопротивления излучения коротких штырей высотой от 1° до 10° лежит в пределах 0,01-0,1 Ом. Следует заметить, что высота очень коротких штырей выражается в градусах, так как это удобно для расчетов. Выражение их высоты в длинах волн из-за своих малых значений менее наглядно.

Из рис.4 понятен перевод длины волны в градусы и обратно. Сопротивление излучения четвертьволнового вибратора, подвешенного над землей на сверхмалой высоте H, также примерно (с точностью ± 30%)

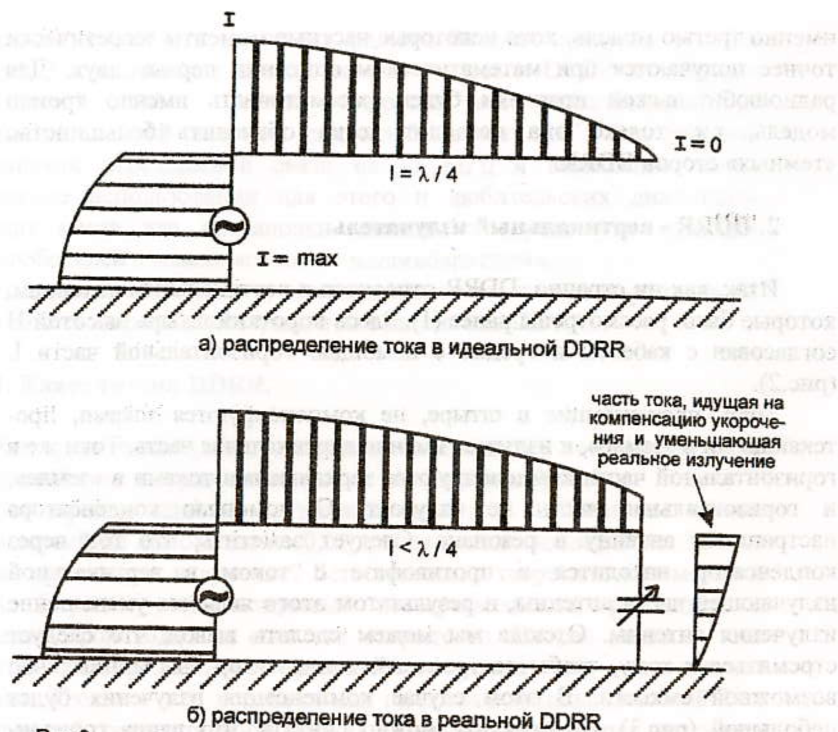


Рис.3

совпадает с сопротивлением штыря аналогичной высоты. Следует заметить, что расчет сопротивлений таких коротких и низких антенн зависит от методики расчета, от средств измерения, в том случае, если активное сопротивление излучения замеряется практически. Поэтому в других источниках можно найти иные значения сопротивления, и для вертикальной, и для горизонтальной части, хотя они мало будут отличаться от приведенного здесь графика. Значения реактивностей для таких коротких антенн будут весьма велики – тысячи Ом. Отсюда можно сделать вывод, что согласование малых сопротивлений излучения штыря и горизонтальной согласующей части и компенсация больших реактивностей без настройки этой антенны в резонанс невозможно. Ведь только в антенне, настроенной в резонанс, происходит компенсация и сведение при этом до нуля или малых величин реактивностей и «выделение» активной составляющей сопротивления излучения.

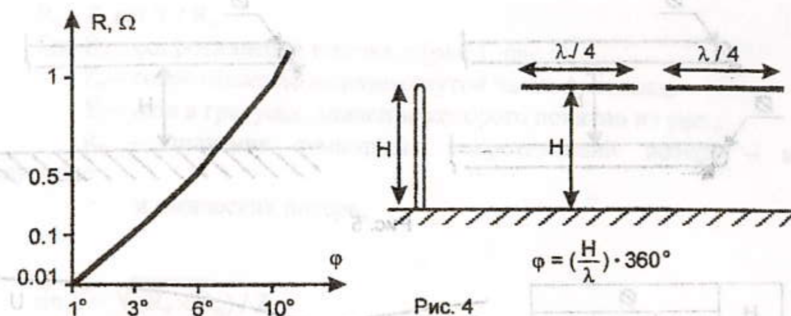


Рис. 4

3. Питание DDRR.

Правильное питание DDRR остается главной проблемой. Для нахождения точек присоединения коаксиального кабеля придется на время принять, что DDRR – это четвертьволновый резонатор на длинной линии.

Линия, из которой состоит DDRR, имеет свое волновое сопротивление Z_w, которое можно рассчитать по известным из (3) формулам.

$Z_w = 138 \, Log_{10} (2H/D)$;

где H – высота подвеса DDRR над землей;

D – диаметр полотна антенны DDRR.

Расчет по этой формуле дает достаточно точное для практики значение волнового сопротивления.

В таблице на рис.5 приведены значения для более распространенных исполнений DDRR. Из (4) можно найти значение сопротивления четвертьволновой разомкнутой линии.

$Z_o = Z_w^2 / R_n$

Где Z_o – сопротивление открытой линии на разомкнутом конце;

Z_w – волновое сопротивление линии;

R_n – сопротивление потерь.

Как видно из рис.6, значение сопротивления разомкнутой четвертьволновой линии максимально на ее разомкнутом конце и равно нулю на короткозамкнутом питающем конце генератора. На этой длине можно найти любую точку, где активное сопротивление меняется от 0 до Z_o.

Видно, что антенна DDRR является одной из самых неприхотливых в питании. Ее можно питать по любому коаксиальному кабелю – 50-75 Ом или с помощью двухпроводной линии 300-600 Ом.

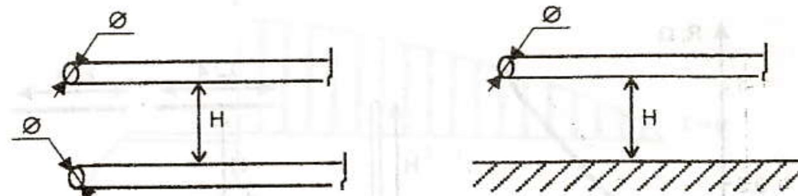


Рис. 5

H	Ø		
	1 см	2 см	3 см
0,25	236	190	152
0,5	276	311	190
0,75	300	260	220
1	311	276	236
1,5	340	300	260
2	360	317	276
	W	W	W

Таблица 1 к рис. 5

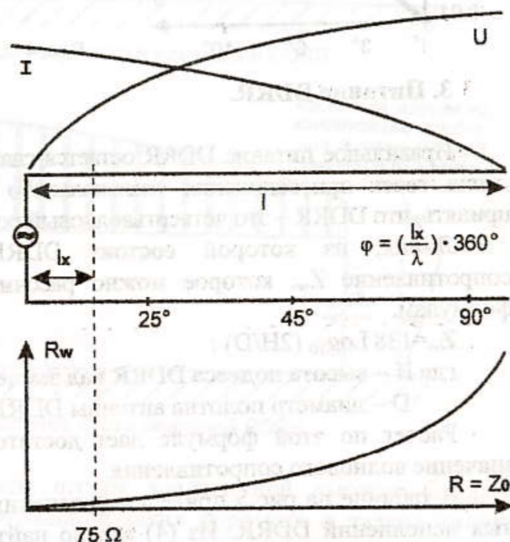


Рис. 6

Но рассмотрим, из чего же состоит сопротивление потерь, без которого невозможно определить Z_o. Оно состоит из суммы сопротивлений излучения вертикальной R_m и горизонтальной R_r части и суммы их активных сопротивлений для токов высокой частоты. Данные для значений сопротивления переменному току частотой 7 МГц – средняя частота любительских диапазонов – полированной трубки длиной 10 метров и диаметром 1см – приведены на рис.7.

Из этого рисунка и из рис.4 можно примерно определить сопротивление потерь. Найдя отсюда сопротивление разомкнутого края открытой линии, можно определить значение сопротивления любой точки антенны DDRR из известной формулы, приведенной в (4) :

$R_x = Z_o \sin Y / R_п$

Где R_x – сопротивление в точке x (рис.1, рис.6);

Z_o – сопротивление на разомкнутой части Антенны;

Y – угол в градусах, значение которого понятно из рис.;

$R_п$ – значение суммарных сопротивлений потерь – на излучение

и омических потерь,

или

$\sin Y = \sqrt{(R_x \times R_п)} / Z_o$

Если вы рассчитаете точки питания для вашей конкретной линии передачи, будь то коаксиальный кабель 50-75 Ом или двухпроводная линия, вы все равно будете нуждаться в небольшой подстройке точек питания. Это связанно с тем, что теоретическое определение точек питания DDRR связанно с оперированием данными, которые в любительских условиях могут быть определенны лишь приблизительно, хотя расчет по предложенной здесь методике дает очень неплохое приближение к практическому результату.

На практике, для нахождения точек питания необходимо, отступив от края перегиба антенны на 1-2 см и надежно присоединив кабель питания хомутом, измерить значение КСВ антенны в зависимости от положения точки питания. Конденсатор должен быть установлен первоначально в среднее положение, и его необходимо настраивать по минимуму КСВ для каждой точки.

Должна получиться картина КСВ, показанная на рис.8. В точке минимума КСВ необходимо еще раз с помощью хомута и КПЕ добиться минимального КСВ. Измерение следует проводить в середине любительского диапазона. При этом полезно проверить, обеспечит ли изменение емкости подстроечного конденсатора в оптимальной точке согласования работу антенны в желаемом диапазоне частот. Если перестройка конденсатора может перекрывать любительский диапазон с большим запасом, то необходимо уменьшить емкость конденсатора и снова подобрать точку питания. Чем меньше емкость на конце, тем больше КПД антенны. Возможно, для этого придется удлинить горизонтальную часть антенны и повторить настройку с самого начала. Если же окажется, что емкостью конденсатора не удается добиться резонанса в верхнем диапазоне частот работы DDRR, то придется ее укротить или, если это затруднительно, подключить конденсатор на

F = 7 Мгц	Медь	Алюминий	Железо
R, Ом	0,25	0,34	≥ 0,6

Рис. 7

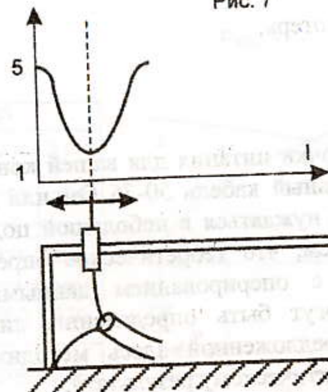


Рис. 8

расстоянии нескольких градусов от открытого конца антенны. В этом случае будет резонировать участок от точки заземления до точки подключения конденсатора, а оставшаяся часть резонатора будет играть роль распределенной емкости.

4. КПД DDRR.

Коэффициент полезного действия DDRR можно определить из (5) как

$КПД = R_a / (R_a + R_п)$,

где R_a – сопротивление излучения антенны, равное сумме сопротивлений излучения горизонтальной и вертикальной части,

$R_п$ – сопротивление омических потерь во всех частях антенны.

На (рис.9) приведен рассчитанный мною КПД для антенны, выполненной из медной трубки диаметром 1 см и длиной в четверть волны над идеально проводящей поверхностью. Как видно из него, КПД такой антенны не так уж плох. Из графика понятно, что нет смысла делать антенну ниже, чем 0,01 длины волны из-за ее низкого КПД и выше 0,1 длины волны из-за ее большой высоты и,

следовательно, с большим волновым сопротивлением составляющего ее резонатора – отсюда и с возникающими трудностями при ее согласовании.

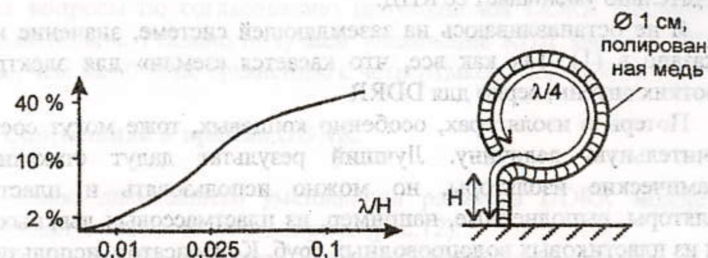


Рис. 9

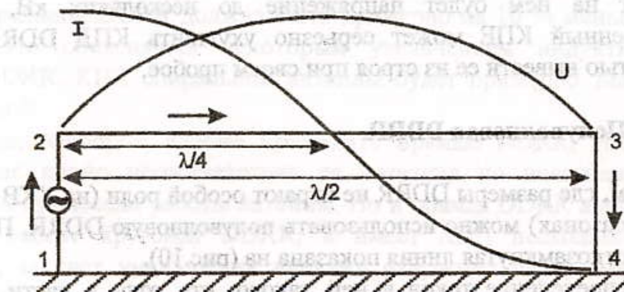


Рис. 10

Существенно увеличить КПД можно, используя для антенны DDRR толстую медную полированную трубку. Алюминиевая будет работать несколько хуже. Крайне нежелательно использовать в этих целях ферромагнитную – железную трубку. Это связано с тем, что физически глубина проникновения ВЧ-напряжения внутрь ферромагнитного материала вследствие его магнитных свойств ниже, чем у парамагнитного. Вследствие этого, отличие сопротивления ВЧ-току железной трубки от медной может составлять десятки раз, то есть там, где медная трубка имеет сопротивление ВЧ-току 1 Ом, такая же по диаметру железная трубка будет иметь сопротивление 10-50 Ом.

Естественно, такая антенна даже теоретически не сможет работать. С использованием железных трубок, кстати, связаны многие неудачи конструкторов DDRR. Еще один путь потерь, который не обсуждался здесь – это потери в основании антенны. Часто значение сопротивления

здесь – это потери в основании антенны. Часто значение сопротивления перехода трубы - полотна антенны на заземление составляет несколько Ом, что уже сравнимо с сопротивлением излучения антенны и значительно уменьшает ее КПД.

Я не останавливаюсь на заземляющей системе, значение которой показано в (1). Так как все, что касается «земли» для электрически коротких антенн, верно для DDRR.

Потери в изоляторах, особенно концевых, тоже могут составлять значительную величину. Лучший результат дадут стеклянные и керамические изоляторы, но можно использовать и пластиковые изоляторы, выполненные, например, из пластмассовых лыжных палок, или из пластиковых водопроводных труб. Конденсатор, используемый в DDRR, должен быть особенно высококачественным. Уже при мощности 100 Вт на нем будет напряжение до нескольких кВ, и низкокачественный КПЕ может серьезно ухудшить КПД DDRR и даже полностью вывести ее из строя при своем пробое.

5. Полуволновая DDRR.

Там, где размеры DDRR не играют особой роли (на УКВ и верхних КВ диапазонах) можно использовать полуволновую DDRR. Полуволновая короткозамкнутая линия показана на (рис.10).

Распределение токов в ней таково, что токи в части 1-2 и 3-4 находятся в фазе, в результате чего диаграммы направленности этих штырей складываются. Понятно, что при этом происходит увеличение КПД DDRR за счет включения сопротивления излучения участка 3-4. Так как токи в частях 1-2 и 3-4 в фазе, эти части можно объединить. Вид такой DDRR показан на рис.11.

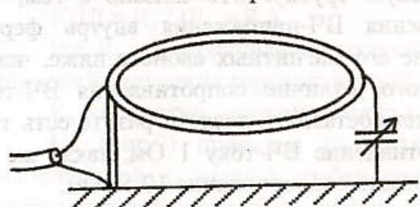


Рис. 11

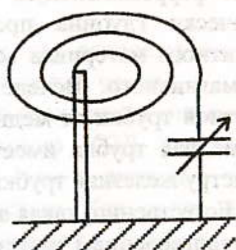


Рис. 12

В ней используется цельнометаллический обруч, что значительно повышает ее механическую прочность. Подстроечный конденсатор

расположен вдали от основного излучающего элемента, что позволяет уменьшить ослабление излучения, производимое его емкостными токами.

Все вопросы по согласованию полуволновой DDRR аналогичны четвертьволновой. Реально получаем увеличение КПД двойной DDRR не менее, чем на 60 % по сравнению с четвертьволновой DDRR.

6. Спиральная и прямая DDRR.

С целью дальнейшего уменьшения размеров DDRR можно ее горизонтальную часть свить в спираль (рис.12).

Это еще более уменьшит размеры DDRR при незначительном уменьшении ее эффективности. Следует обратить внимание на то, что длина спиральной DDRR должна быть примерно на 10 % меньше, чем круглой. Это объясняется некоторым увеличением индуктивности полотна DDRR. КПД спиральной антенны будет примерно таким же, как и круглой.

Иногда, наоборот, удобно применять прямые DDRR. Именно в этом случае видно несоответствие ее названия по внешнему виду физическим процессам работы антенны. Но и прямая DDRR аналогична по своей работе круговой DDRR, и имеет КПД несколько выше последней, за счет уменьшения влияния излучения через емкостной конец на вертикальную излучающую часть антенны, а также из-за увеличения расстояния между ними. Еще несколько повышает ее КПД то, что провод, свернутый в круг, имеет дополнительное уменьшение излучения за счет взаимодействия сторон круга. Развернутый же провод имеет излучение немного выше свернутого. Эти два фактора увеличивают КПД прямой DDRR по сравнению с традиционной свернутой примерно на 10-20 %.

7. Влияние атмосферных воздействий на DDRR.

Вследствие своей высокой добротности и малой высоты антенна DDRR подвержена воздействию снега, который, покрыв ее, может существенно ухудшить работу антенны. Это вызвано ухудшением добротности DDRR и ее расстройкой, частота антенны может даже выйти за пределы регулировки конденсатора. Понизить добротность, а следовательно и КПД, и расстроить антенну могут и другие виды

осадков – дождь, туман и даже пыль.

Полотно и заземление антенны должны быть тщательно защищены от коррозии. Следует помнить, что даже если небольшая часть полотна антенны окислится, то это может полностью прекратить ее работу на передачу, хотя на прием она будет работать. Стоит обратить особое внимание на используемый конденсатор. Вследствие того, что на нем присутствует высокое – киловольты – напряжение, желательно использовать только вакуумные бесконтактные конденсаторы. Конденсаторы других типов нуждаются в тщательной защите от влаги.

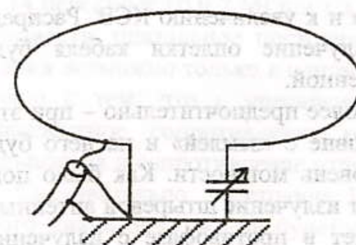
В то же время необходимо использовать только переменные конденсаторы, так как, во-первых, как было показано выше, резонансная частота антенны может измениться вследствие атмосферных воздействий, а во-вторых, полоса пропускания DDRR может быть значительно уже полосы любительских диапазонов.

Что касается атмосферных разрядов, то DDRR относится к малошумящим антеннам. Она заземлена, а значит, безопасна во время работы в предгрозовой период, и может обеспечить выделение сигнала в условиях помех от статического электричества. Малая же высота DDRR значительно снижает вероятность попадания в нее молнии.

8. Влияние близлежащих предметов на DDRR.

Все, что касается влияния близлежащих предметов для штыревой антенны (1), верно и для DDRR, но здесь есть и свои особенности, связанные с наличием ее горизонтальной части. Можно пренебречь влиянием на горизонтальную ее часть предметов, находящихся на расстоянии, равном утроенному значению высоты DDRR. Крайне желательно отсутствие массивных проводящих предметов, загораживающих горизонт для DDRR. В то же время она может быть размещена как под различными антеннами – диполями, рамочными и штыревыми – так и рядом с ними. Влияние этих антенн на DDRR и DDRR на работу этих антенн будет незначительным. Следует обратить внимание на хорошее сосуществование DDRR с телевизионными антеннами, что поможет Вам решить проблему TV1.

Но все это возможно только в случае согласования кабеля питания с антенной и настройкой антенны на рабочую частоту.


Рис. 13

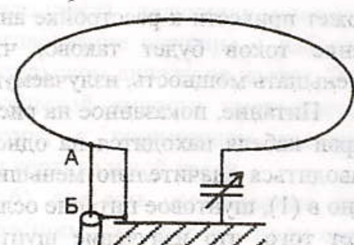


Рис. 14

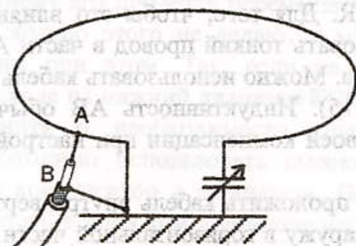


Рис. 15

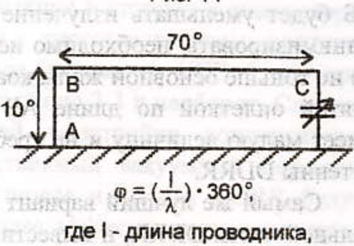


Рис. 17

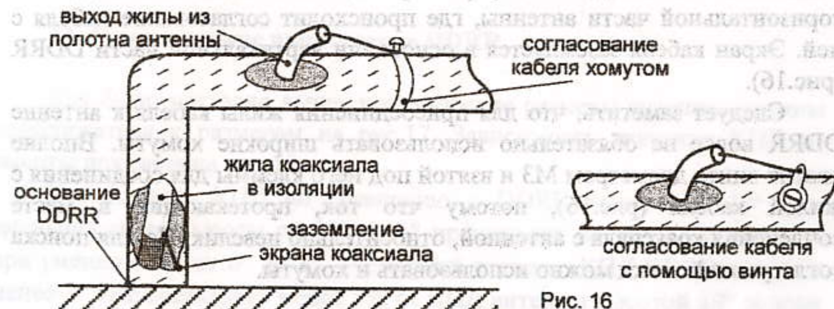


Рис. 16

9. Практическое выполнение питания DDRR.

По сравнению с другими антеннами антенны DDRR имеют свои особенности в питании. Неопытный радиолюбитель обычно использует два варианта подключения коаксиального кабеля (рис.13 и рис.14).

Вариант, показанный на рис.13, использовать не рекомендуется вообще. Дело в том, что здесь на оплетку коаксиального кабеля наводится значительная часть мощности от излучающего элемента, что

может привести к расстройке антенны и к увеличению КСВ. Распределение токов будет таково, что излучение оплетки кабеля будет уменьшать мощность, излучаемую антенной.

Питание, показанное на рис.14, более предпочтительно – при этом экран кабеля находится на одном уровне с «землей» и на него будет наводиться значительно меньший уровень мощности. Как было показано в (1), шунтовое питание ослабляет излучение штыревой антенны за счет того, что излучение шунта будет в противофазе с излучением основной части штыревой антенны. Здесь также излучение проводника АБ будет уменьшать излучение DDRR. Для того, чтобы это влияние минимизировать, необходимо использовать тонкий провод в части АБ, но не тоньше основной жилы коаксиала. Можно использовать кабель со снятой оплеткой по длине АВ (рис.15). Индуктивность АВ обычно имеет малую величину и не требует своей компенсации при настройке антенны DDRR.

Самый же лучший вариант – это проложить кабель внутри вертикальной части DDRR, и вывести его наружу в горизонтальной части. В этом случае оплетка на длине кабеля, проложенного внутри антенны, снимается. Он заводится внутрь вертикальной части и выходит из горизонтальной части антенны, где происходит согласование кабеля с ней. Экран кабеля заземляется в основании вертикальной части DDRR (рис.16).

Следует заметить, что для присоединения жилы кабеля к антенне DDRR вовсе не обязательно использовать широкие хомуты. Вполне хватит винта диаметром М3 и взятой под него клеммы для соединения с жилой кабеля (рис.16), потому что ток, протекающий в месте сочленения коаксиала с антенной, относительно невелик. Но для поиска согласующей точки можно использовать и хомуты.

10. Широкополосные DDRR.

Как было показано выше, излучение, вызванное емкостным током через конденсатор, ослабляет излучение DDRR, поэтому необходимо использовать антенну с минимально возможной концевой емкостью. Но в некоторых случаях необходима широкополосная работа, то есть перекрытие и соседних диапазонов. Теоретически, Вы можете использовать DDRR для перекрытия диапазона вдвое ниже по частоте основного, то есть DDRR для 28 МГц перекроет 28, 24, 18 и 14, DDRR

для 14 перекроет 10 и 7 МГц и т.д. Но надо учесть следующие моменты. Произвести тщательное постоянное согласование антенны с кабелем питания возможно только в одном любительском диапазоне частот. Это связано с тем, что с увеличением концевой емкости уменьшается эквивалентное сопротивление резонатора, с понижением частоты уменьшается и сопротивление излучения вертикальной части.

Следовательно, расстояние L (рис.6), где есть согласование для одного диапазона, уже не будет согласующим для другого. Если есть легкий доступ к хомуту питания, то при смене диапазонов от верхнего к нижнему его придется перемещать по антенне в сторону конденсатора. Но обычно этого не делают и мирятся с рассогласованием, возникающим при этом. Так, если на верхнем диапазоне КСВ=1, то при переходе на нижний диапазон КСВ будет около 2-3 и наоборот. Следует помнить о необходимости тщательной подстройки конденсатора. Необходимо использовать высококачественный вакуумный переменный конденсатор с верньером. Полуволновая и прямая DDRR будут работать в широком диапазоне частот более эффективно, чем четвертьволновая и круговая, в частности из-за уменьшения излучения за счет емкостного тока.

11. Практическое выполнение DDRR.

Как было показано выше, практические размеры антенны должны приближаться к размерам на рис.17. Зависимость значения КПД от высоты показана на рис.18.

Уменьшение КПД по сравнению с DDRR высотой в 10° при уменьшении ее высоты от 10° до 6° происходит во второй степени, а при уменьшении от 6° до 3° – четвертой степени. КПД DDRR высотой менее 3° уже составляет менее 5% от КПД антенны высотой 10° и доли процента по отношению к диполю. Естественно, использовать антенну с такой высотой на передачу нецелесообразно.

В качестве материала желательно использовать полированную медную или алюминиевую трубу, можно использовать толстый коаксиальный кабель (его оплетку). В этом случае достаточно просто решается проблема с питанием – на расстоянии 2°-3° от точки перегиба поднимается экран, разрезается, достается жила и происходит ее согласование с DDRR. Центральная жила горизонтальной части подсоединяется к оплетке так, как это показано на рис.19.

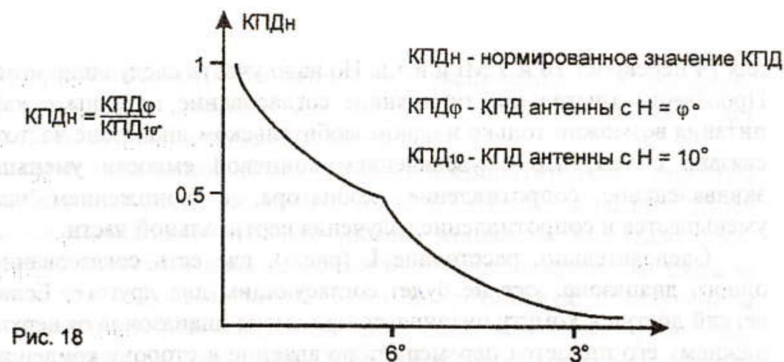


Рис. 18

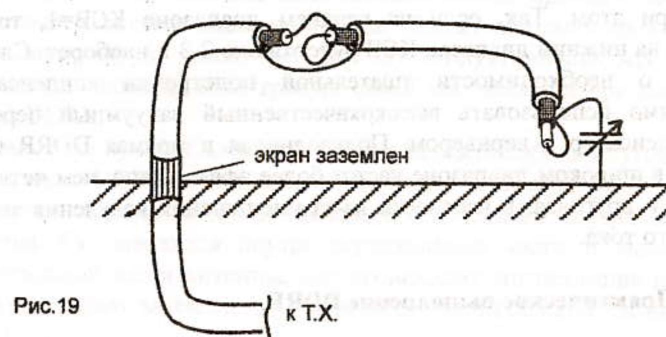


Рис.19

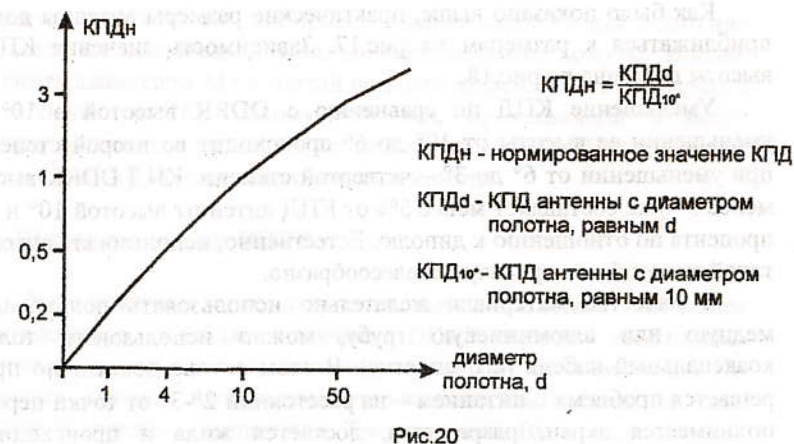
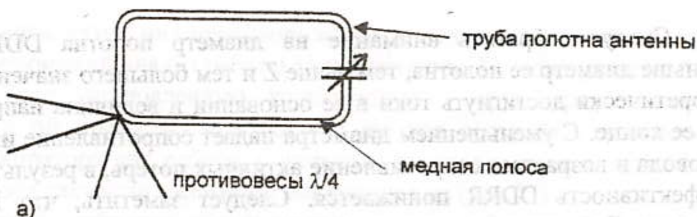


Рис.20





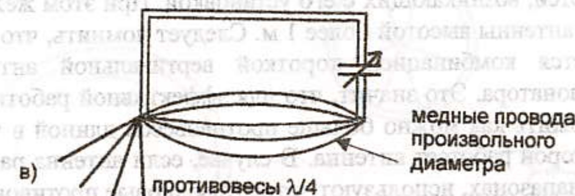


Рис. 21

Преимущество такой DDRR в том, что, во-первых, рабочая поверхность антенны защищена пластиковой оболочкой кабеля, а во-вторых, в легкости изготовления и экспериментов с такой антенной. Для ее изготовления можно использовать коаксиальный кабель с любым волновым сопротивлением – 50-100 Ом. Для изготовления УКВ антенн на диапазон 50-28 МГц можно использовать алюминиевые обручи, которые продаются в магазинах спорттоваров.

Особое внимание при постройке полуволновых антенн следует обратить на симметричность конструкции, которая должна быть не хуже нескольких градусов. Следовательно, антенна для КВ может иметь асимметричность, лежащую в пределах сантиметров, а антенна УКВ должна иметь асимметричность, лежащую в пределах миллиметров. Большая асимметричность ведет к расширению полосы пропускания антенны, увеличивает ее КСВ из-за несимметричности и, следовательно, ведет к появлению неодинаковой резонансной частоты у обеих половинок антенны.

Следует обратить внимание на диаметр полотна DDRR. Чем меньше диаметр ее полотна, тем выше Z и тем большего значения могут теоретически достигнуть токи в ее основании и величина напря-жения на ее конце. С уменьшением диаметра падает сопротивление излучения провода и возрастает сопротивление активных потерь, в результате чего эффективность DDRR понижается. Следует заметить, что DDRR с высоким Z, более трудны в согласовании.

При увеличении диаметра DDRR Z понижается, и в то же время увеличивается сопротивление излучения и уменьшается сопротивление потерь. Антенну с небольшим Z можно согласовать более тщательно, чем с большим. График, показывающий зависимость изменения КПД антенны от диаметра ее полотна, показан на рис.20.

Использовать полотно диаметром свыше 50 мм нецелесообразно из-за сложностей, возникающих с его установкой. При этом желательно использовать антенны высотой более 1 м. Следует помнить, что антенна DDRR является комбинацией короткой вертикальной антенны и открытого резонатора. Это значит, что для эффективной работы штыря следует проложить как можно больше противовесов длиной в четверть волны, на которой работает антенна. В случае, если антенна работает в нескольких диапазонах, используют четвертьволновые противовесы для каждого ее диапазона. Под горизонтальной частью к конденсатору следует проложить медную или алюминиевую ленту (первая использу-ется в электроцехах предприятий, а вторая – на молокозаводах), приняв меры по их защите от воздействия атмосферы, или проложить 4-10 медных проводов меньшего диаметра (1-4 мм), чем полотно DDRR, или, что еще лучше, использовать такую же трубу, как в DDRR (рис.21).

Это позволит увеличить эффективность работы антенны. Лучший вариант – размещение ее над проводящей поверхностью – металлической крышей, например, хотя такое не всегда возможно.

Очень хорошо должна работать DDRR на морских подвижных объектах, которые удовлетворяют вышеизложенным условиям.

12. Вертикальное выполнение DDRR.

В некоторых публикациях встречаются сообщения о вертикально выполненных DDRR (рис.22), но следует отметить малую эффективность таких антенн.

Это связано с тем, что происходит взаимокомпенсация и

ослабление излучения противоположными сторонами антенны, сложен и теоретический анализ работы такой антенны. Но если радиолюбитель имеет уже установленную конструкцию – круг, треугольник или квадрат, он может воспользоваться ею для постройки широкополосного вибратора для работы в широком диапазоне частот, практически используя схему согласования, показанную на (рис.23).

Такой вибратор произвольных размеров можно согласовать в любом любительском КВ диапазоне частот. Для большей широкополосности рекомендуется соединить противоположные точки 4-10 проводами диаметром 1-2 мм. Если же один из концов такой петли заземлен, то можно использовать схему согласования, показанную на рис.24.

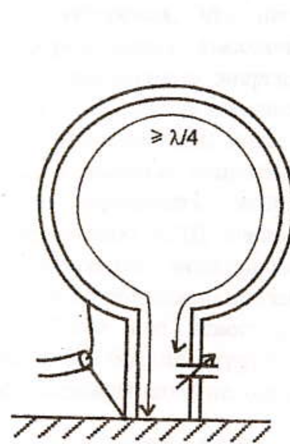


Рис. 22

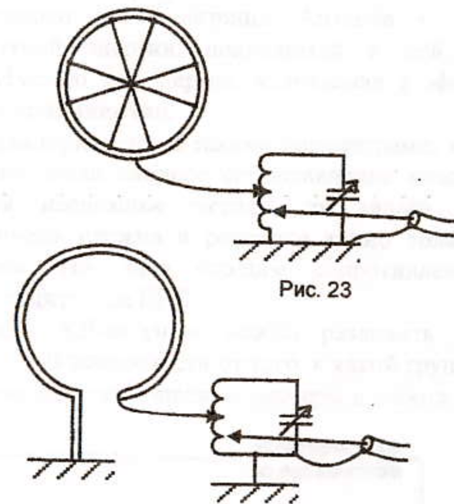

Рис. 23

Рис. 24

Здесь тоже, используя рамку произвольного периметра, можно достичь согласования в любом любительском диапазоне частот. Для использования контура в режиме с высоким КПД, желательно, чтобы его настроечная емкость была не более 400 пФ на 1,8 МГц.

Но этот тип антенн уже не подходит под классификацию DDRR.

ЛИТЕРАТУРА.

1. РЛ № 7/92. Григоров И.Н. Штыревые антенны.

2. З. Беньковский, Э.Липинский. Любительские антенны коротких и ультракоротких волн. М. РиС, 1983.
3. Г.З.Айзенберг и др. Коротковолновые антенны. М. РиС, 1983.
4. Г.И.Атабеков. Теоретические основы электротехники. М. Энергия, 1978.

Часть 3. Суррогатные и невидимые антенны.

Глава 1. Невидимые и суррогатные антенны.

Очевидно, всем приходилось сталкиваться с проблемой быстрого развертывания любительской антенны в условиях комнаты или небольшого дома. Это может быть и использование трансивера на даче, и испытание вновь построенного трансивера. Проживание в общежитии и в некоторых районах города не допускает того, чтобы антенна была видна снаружи и поневоле приходится применять меры по ее маскировке. В этом случае стоит вопрос – что использовать для работы? Дать ответ на этот вопрос и призван этот раздел.

Разберемся, что представляет собой антенна. Антенна – это преобразователь высокочастотной энергии, подводимой к ней, в электромагнитную энергию. Именно эта энергия, излучаемая в эфир, затем воспринимается нашими приемниками.

Любая антенна может характеризоваться такими параметрами, как КПД и входное сопротивление. Если входное сопротивление можно легко определить, используя несложные методы, то задача по определению КПД очень и очень сложна и решается точно только практическим моделированием. Но, зная входное сопротивление антенны, уже можно косвенно судить о ее КПД.

Далее все известные нам КВ-антенны можно разделить на несколько больших групп (рис.1). В зависимости от того, к какой группе принадлежит антенна, определяется ее размещение, размеры и работа.



Рис. 1

1. Электрические антенны.

Электрические антенны работают, используя электрическую составляющую электромагнитной волны. К этому типу антенн относятся диполи и штыревые антенны. Излучение электромагнитной волны осуществляется за счет токов смещения, которые протекают между вибраторами диполя или между штырем и его «земляной» системой (рис.2).

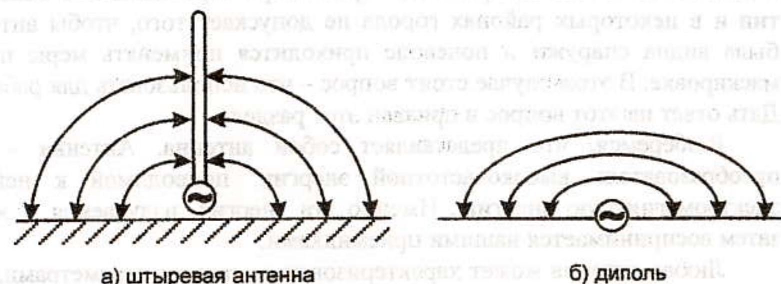


Рис. 2

Эффективность излучения этой антенной системы зависит от эффективности взаимодействия токов смещения с эфиром. Мы можем создать или мощное электрическое поле в случае использования коротких антенн или создать протяженное электрическое поле при использовании антенн нормального размера – четвертьволновых и большей длины – штырей и диполей.

2. Суррогатные несимметричные антенны.

Наиболее просто выполнить несимметричную суррогатную антенну. Она представляет собой отрезок провода некоторой длины, подключенный прямо к выходу передатчика. Из несимметричных антенн наиболее просто выполняется штыревая антенна. При использовании любой штыревой антенны мы можем ее условно разделить на две части – на собственно излучающий штырь и его заземляющую систему (рис.3).

Совсем другое дело, когда несимметричная антенна развернута в квартире. Такая антенна может быть и электрически нормальной, то

есть, когда длина излучающего элемента составляет от четверти длины волны и более.

При использовании классических штырей в свободном пространстве величины сопротивлений излучающего штыря и его противовесов будут примерно одинаковыми.

Нельзя сказать, что излучает только штырь – в излучении ЭМВ принимает почти одинаковое участие штырь и его «земля».

Использовать такую несимметричную внутреннюю антенну можно только в кирпичном или деревянном доме. Такая антенна может быть выполнена в нескольких вариантах (рис.4).

При работе на высокочастотных диапазонах провод длиной в четверть волны может проходить по стене и по потолку (рис.4а). При работе на диапазонах, начиная от 20 метров, размеров комнаты может не хватить для размещения такого отрезка. В этом случае его размещают согнутым. При работе на диапазонах 80-160 метров, согнутый провод может уже проходить по двум стенам и потолку (рис.4в).

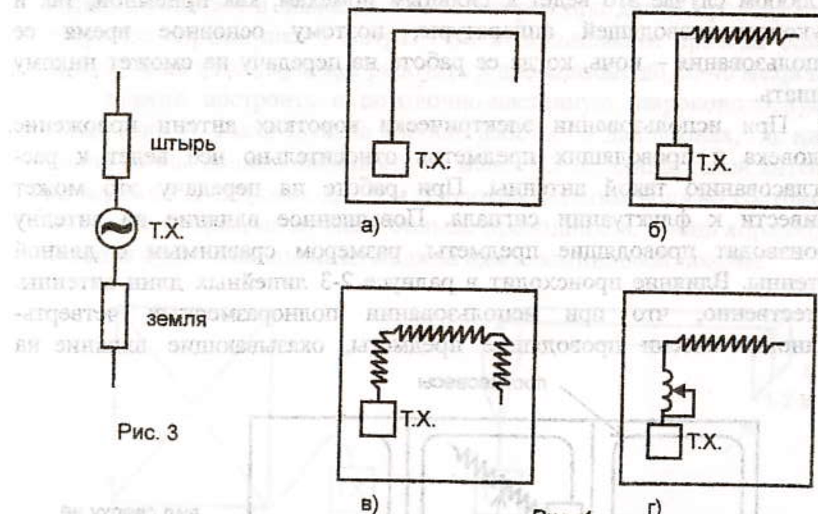


Рис. 3

Рис. 4

Если в случае, изображенном на рис.4а, от такой антенны можно ожидать хорошей работы и излучения под низкими углами к горизонту, то в случае, показанном на рис.4б, уже не будет излучения под низкими углами к горизонту, так как объем, в котором будут протекать токи смещения, ограничен. Если последовательно с антенной, изображенной

на рис.4г, длиной 2,5 или 5 м, которая работает соответственно на 10- или 20-метровом диапазоне, включить вариометр с индуктивностью до 100 мкГн, то такую антенну можно использовать и в диапазонах 12-160 метров, но эффективность ее в нижних диапазонах будет хуже, чем антенны на рис. 4б и 4в. Это уже электрически короткая антенна. Использовать такие суррогатные антенны без эффективного заземления нельзя. В самом плохом случае роль земли будет выполнять сеть питания, что чревато большими радиопомехами. Использование труб отопления и водопровода дает гораздо лучшие результаты, но радикально не уменьшает уровень TVI.

Уменьшить уровень TVI и улучшить эффективность работы поможет прокладка на полу нескольких противовесов длиной в четверть волны. Они могут быть согнутыми, как и основная антенна, могут проходить по периметру нескольких комнат (рис.5). Хорошо, если есть возможность проложить несколько таких противовесов.

Использование антенны на рис.4 целесообразно на верхних этажах. В любом случае это ведет к сильным помехам, как приемной, так и звуковоспроизводящей аппаратуры, поэтому основное время ее использования – ночь, когда ее работа на передачу не сможет никому мешать.

При использовании электрически коротких антенн положение человека и проводящих предметов относительно нее ведет к рассогласованию такой антенны. При работе на передачу это может привести к флуктуации сигнала. Повышенное влияние на антенну производят проводящие предметы, размером сравнимым с длиной антенны. Влияние происходит в радиусе 2-3 линейных длин антенны. Естественно, что при использовании полноразмерных четвертьволновых антенн проводящие предметы, оказывающие влияние на

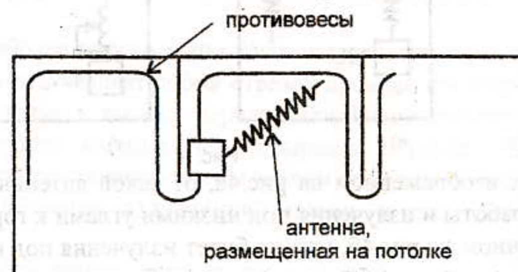


Рис. 5

антенну, должны быть больших размеров, что ведет в конечном итоге к тому, что четвертьволновую антенну труднее расстроить.

Следует помнить, что влияние, которое будут оказывать на такую антенну сеть питания, трубы отопления и водопровод, будет непредсказуемым.

Немного уменьшить такое влияние поможет использование широкополосных несимметричных антенн. Самая простая широкополосная несимметричная антенна, работающая на 10-15 метров – обыкновенная железная кровать. Она может работать в диапазоне от 15 метров до 10 метров. Другим примером легко выполнимой широкополосной антенны может служить дверь, обитая по периметру и диагонали тонкой медной или алюминиевой полосой (рис.6).

Медную полосу используют в электрическом хозяйстве многих промышленных предприятий, а алюминиевую фольгу – полосу используют на молокозаводах. Обычно в таких местах можно найти полосу фольги необходимой длины для выполнения такой антенны. Такая антенна работает в диапазоне 10-15 метров при длине провода от угла двери до передатчика 2 метра. При использовании провода большой длины такая антенна может работать и в диапазоне до 20-40 метров.

Можно построить и потолочно-настенную широкополосную антенну (рис.7). Такая антенна хорошо работает в диапазонах, где нижняя длина волны должна составлять не менее 0,2 от длины такой антенны и на верхних диапазонах до 10 м. Полотно антенны должно состоять как минимум из трех, но лучше – больше проводников. Очень хорошо, если антенна будет выполнена из медной или алюминиевой полосы.

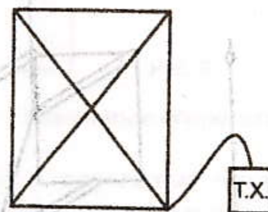


Рис. 6

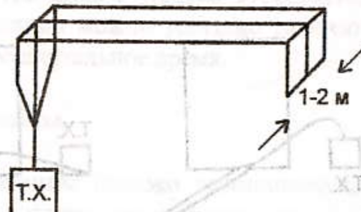


Рис. 7

Недостатками внутренних антенн является то, что все предметы, окружающие ее, и находящиеся в комнате, принимают участие в работе

этой антенной системы. Полупроводящие тела – человек, домашние животные и растения поглощают энергию, проводящие предметы – зеркала, трубы отопления и водопровода переизлучают электромагнитную энергию. Это приводит к тому, что КПД таких антенн мал.

Такая антенна, если к ней подводить большую мощность (более 1000 Вт) может выжечь контуры в близкорасположенном радиоприемнике, если они случайно будут настроены на частоту вашего передатчика.

Такие внутренние антенны не могут быть использованы внутри железобетонных зданий из-за сильного поглощения электрической составляющей электромагнитной волны арматурой здания. Для того, чтобы была возможность работать в таком здании, необходимо использовать наружную антенну. При работе в железобетонных зданиях подключение «земляной» системы к арматуре здания дает существенное увеличение (до 2-х баллов) силы сигнала. Обычно подключиться к арматуре можно на балконе, где железное ограждение по технологии постройки домов должно быть соединено электрически с арматурой здания.

После такого подключения необходимо определиться с типом антенны, который вы будете использовать. Это может быть простая штыревая антенна (рис.8а), удлиненная штыревая антенна (рис.8б) и широкополосная штыревая антенна (рис.8в).

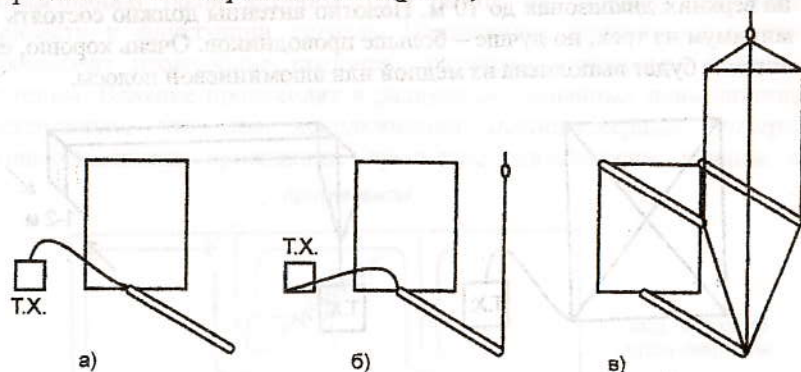


Рис. 8

При работе на передачу наиболее эффективна антенна на рис.8а. Длина штыря вместе с проводом подключения к передатчику должна равняться четверти длины волны выбранного Вами диапазона. Если это невозможно, то для согласования короткого штыря (длина которого может быть 2-3 м) для работы в диапазонах от 10 м до 160 м нужно использовать вариометр с максимальной индуктивностью не менее 100 мкГн и минимальной не более 1 мкГн. Такой штырь можно выполнить, например, из алюминиевого шеста для прыжков в высоту.

Этот вариометр должен быть включен непосредственно на выходе передатчика (рис.9).

При использовании антенн на рис.8б и 8в необходимо их удалять от стены здания настолько, насколько это возможно. Рекомендации по выполнению размеров для настраиваемой (рис.8б) и широкополосной антенны такие же, как и для внутрикомнатных антенн.

Недостатки наружных несимметричных антенн таковы:

1. Сильное поглощение ЭМВ в стенах дома.
2. Необходимость подстройки длины антенн, т.к. из-за влияния близкорасположенных стен приходится использовать антенны длиной чуть короче расчетной.
3. Большой электрический потенциал на антенне и согласующей катушке – и, вследствие этого, возможность поражения человека.

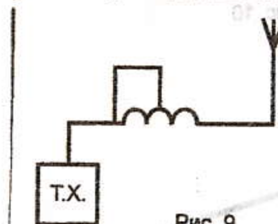


Рис. 9

КПД наружных антенн так же, как и КПД внутренних, мал. В общем случае, они примерно сравнимы и не превышают 10%.

Но даже с такими суррогатными антеннами можно успешно работать в эфире длительное время.

3. Дипольные суррогатные антенны.

Если суррогатные штыревые антенны широко применяются, то дипольные суррогатные и внутренние антенны используются редко. Это обусловлено тем, что посторонние предметы искажают диаграмму направленности таких антенн и рассимметрируют их, что сводит на нет все их преимущества. Но если Вы предполагаете работать только на высокочастотных диапазонах, то можно использовать дипольные антенны с рефлектором (рис.10).

Упрощенный вариант такой антенны представляет собой обычный классический диполь с длиной плеч по четверть длины волны на расстоянии от стены дома в 0,1-0,3 длины волны. На стене укреплен рефлектор размером, на 10-15% превышающим размеры диполя. Очевидно, что на 10-15 метровых диапазонах размеры такой антенны еще остаются приемлемыми для изготовления. Учитывая, что рефлектор (их лучше использовать несколько) довольно сильно защищает диполь от влияния всего находящегося за ним, при работе такой антенны можно получить неплохие результаты.

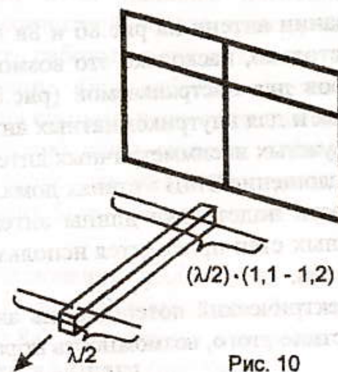


Рис. 10

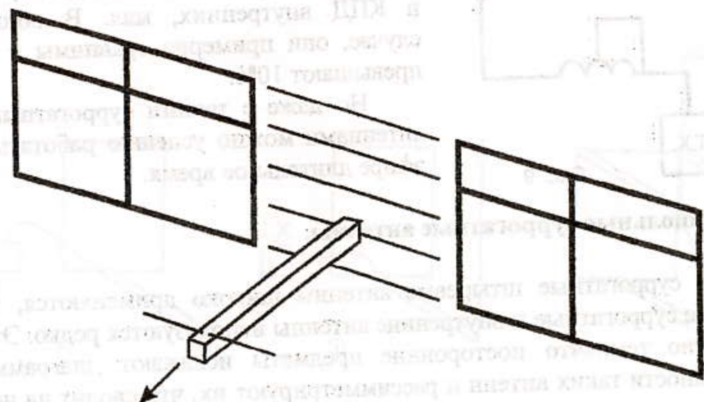


Рис. 11

Эта антенна имеет максимум излучения в направлении, перпендикулярном диполю, как показано на рисунке.

Антенна с рефлектором может быть использована на любом здании – кирпичном или бетонном, но бетонное здание оказывает расстраивающее действие на рефлектор. В этом случае может оказаться более приемлемым вариантом размещение нескольких рефлекторов длиной от $\lambda/2$ до $(\lambda/2) \times 1,2$ (рис.11).

Главная сложность при изготовлении такой антенны – это прочная установка ее на стене дома. Достоинство же ее в том, что она практически не требует настройки, т.к. при расстоянии между рефлектором и вибратором от 0,1 до 0,3 длины волны волновое сопротивление вибратора меняется от примерно 15 до 70 Ом, что хорошо поддается согласованию с кабелем или с помощью гамма-согласования. Даже используя непосредственное питание кабелем, при расстоянии вибратор-рефлектор от 0,2 до 0,3 длины волны, КНД и КПД антенны будут оптимальными.

Глава 2. Использование TV антенн в диапазоне КВ.

При установке индивидуальной телевизионной антенны можно предусмотреть возможность осуществления ее использования как для приема КВ, так и ТВ.

Следует заметить, что некоторые телевизоры создают помехи радиоприему, а некоторые, обычно ламповые, приемники создают помехи телевизорам, поэтому их использование одновременно затруднительно.

В случае же раздельной эксплуатации можно использовать ТВ антенну в КВ диапазонах для приема и для передачи.

Есть несколько способов использования для этого ТВ антенны. Можно прием в диапазоне КВ вести на обычную ТВ антенну, которая в данном случае будет представлять собой простую магнитную рамочную антенну для КВ диапазона, в случае использования петлевого вибратора или зигзагообразной антенны Харченко. Можно вести прием и на ТВ диполь. Во всех случаях придется исключить симметрирующие устройства, которые создают короткое замыкание в КВ диапазоне. При раздельном использовании такую антенну можно непосредственно подключать к приемнику (рис.1).

При одновременной эксплуатации телевизора и приемника необходимо разделить радио и телесигнал с помощью простейших ФНЧ и ФВЧ (рис.2).

Если же на антенне уже используется симметрирующее устройство или чувствительность приемника недостаточна для работы с короткой антенной, можно использовать в качестве антенны экран коаксиала. Самый простой способ связи в этом случае – трансформаторный. Для его реализации на ферритовом стержне 600-НН диаметром 8 мм необходимо намотать 10-20 витков коаксиала, на другом конце намотать столько же витков провода диаметром 0,5-3 мм, и подключить их к приемнику (рис.3).

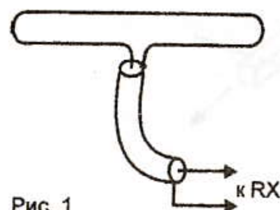


Рис. 1

В случае использования толстого коаксиала – диаметром 8 мм и более – для изготовления трансформатора можно использовать банку 1-0,5 литра или бутылку 0,5 литра. Для этого коаксиал наматывается на нее виток к витку. Начало и конец намотки закрепляются изолентой.

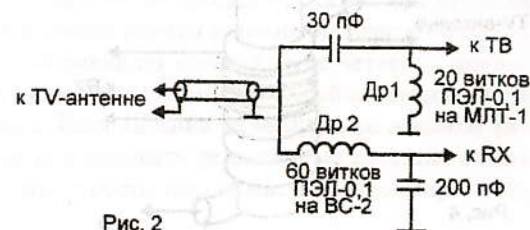


Рис. 2

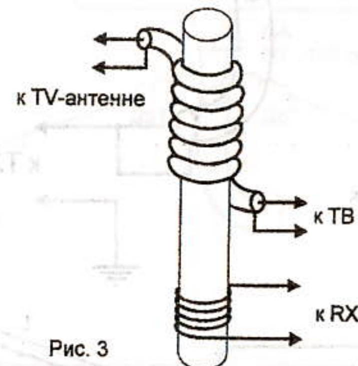


Рис. 3

Поверх наматывается катушка связи, состоящая из 10-20 витков провода диаметром 0,5-3 мм (рис.4). В случае использования трансформаторов для разделения радио- и телесигналов ТВ антенна должна быть постоянно заземлена, то есть постоянно включена в телевизор.

Использование ТВ антенн на передачу в диапазоне КВ несколько сложнее, чем на прием. Здесь обязательна раздельная работа передатчика и телевизора. Самый простой способ – это использовать оплетку коаксиала в качестве антенны типа LW (рис.5). В этом случае ТВ антенну просто подключают к выходу передатчика, закоротив центральную жилу кабеля на его оплетку. При конструировании такой антенны необходимо соблюдать все меры, чтобы LW, сделанная из ТВ-кабеля работала эффективно. Для этого необходимо использовать деревянную

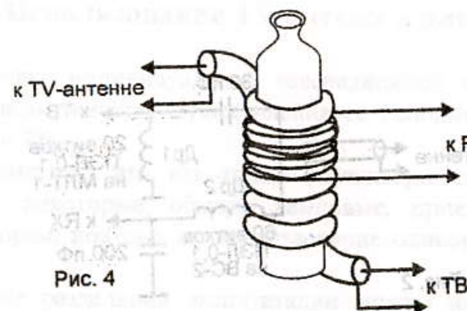


Рис. 4

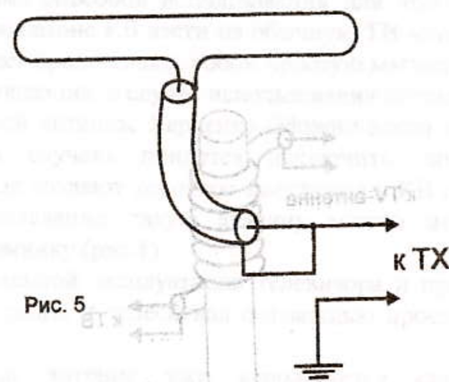


Рис. 5

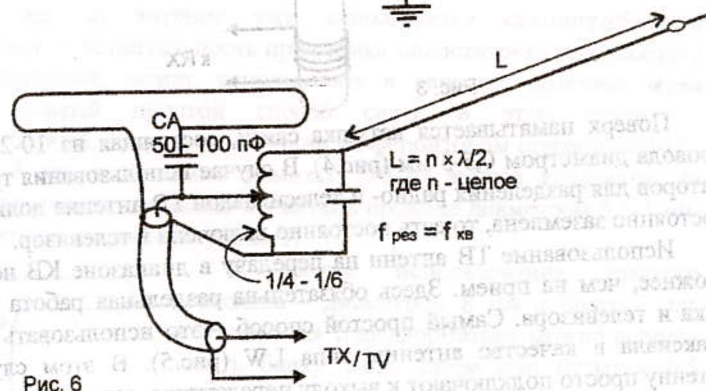


Рис. 6

мачту для антенны или дерево в качестве мачты, размещать ТВ антенну как можно дальше от любых протяженных металлических предметов. Для эффективной работы антенны на передачу желательно, чтобы длина кабеля была равна по крайней мере четверти длины волны, на которой будет использована антенна. Крайне важно использовать хорошее заземление. Если антенна размещена на высокой металлической мачте, то можно использовать резонансные антенны на каком-либо из диапазонов. Очень просто реализовать высокоомную полуволновую антенну (рис.6).

Для этого на верхушке мачты ТВ антенны размещают контур, построенный на выбранный КВ диапазон, согласованный с кабелем и с ТВ антенной.

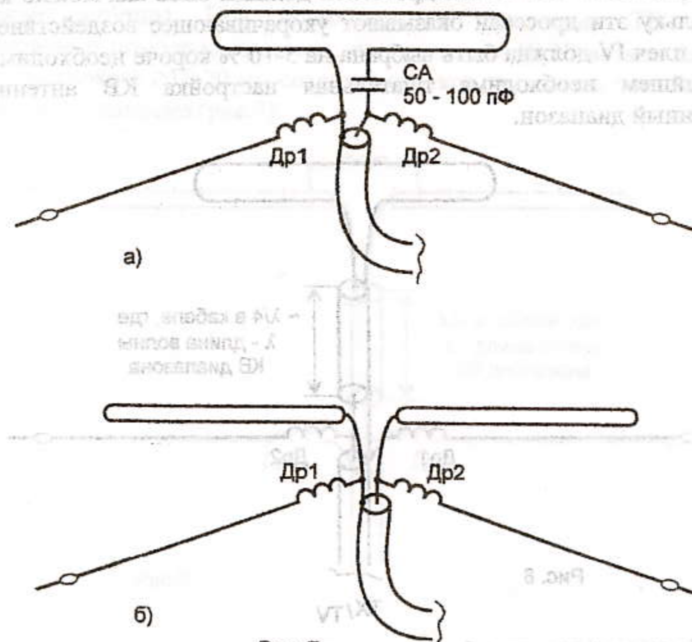


Рис. 7

Главной сложностью для реализации такой антенны является согласование контура с антенной и кабелем, что может потребовать несколько раз поднимать и опускать контур. Конденсатор CA также

может потребовать подбора по минимуму «отраженки» на экране телевизора. Контур необходимо предварительно настроить на резонансную частоту выбранного КВ диапазона.

Гораздо легче построить инвертор, показанный на рис.7. К существующей ТВ антенне, которая подключается через конденсатор емкостью 50-100 пФ, если она замкнута, через дроссели подключаются плечи инверторов. К дросселям предъявляются лишь требования по механической прочности и их симметричности, их индуктивность может составлять 3 – 10 мкГн, в зависимости от диапазона, на котором будет работать IV. Удобно использовать эбонитовые каркасы или части пластиковых лыжных палок. Например, при диаметре каркаса 12-16 мм, дроссель может содержать 10-20 витков провода ПЭЛ-1,0. Проводники подключения к ТВ антенне дросселей должны быть как можно короче. Поскольку эти дроссели оказывают укорачивающее воздействие, то и длина плеч IV должна быть выбрана на 5-10 % короче необходимой и в дальнейшем необходима тщательная настройка КВ антенны на выбранный диапазон.

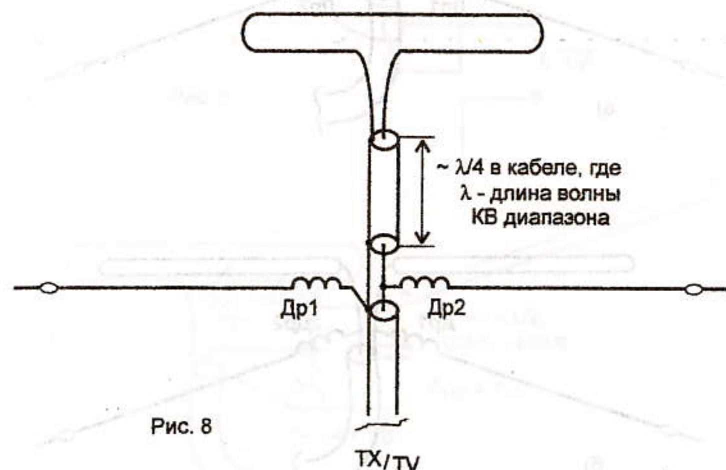


Рис. 8

По такому же способу можно подключить и антенны других типов – штыревые и рамочные, но их согласование будет более трудной задачей, чем согласование инвертора, где его плечи легкодоступны для настройки. При размещении КВ и ТВ антенн в непосредственной близости друг от друга КВ антенны будут ухудшать работу ТВ антенн. В

большинстве случаев это ухудшающее влияние невелико, но при приеме слабых ТВ станций оно может сказаться. В этом случае ТВ антенну необходимо подключить через четвертьволновый для КВ диапазона отрезок коаксиального кабеля (рис.8). В этом случае КВ антенна настраивается без подключения ТВ антенны с четверть-волновым отрезком (не забывайте о коэффициенте укорочения, который для большинства кабелей равен примерно 0,6). Затем, после установки приемлемых значений КСВ подключается ТВ антенна и постепенным укорачиванием четвертьволнового кабеля добиваются минимального влияния системы из ТВ антенны на работу КВ антенны. В данном случае ТВ антенна должна представлять собой короткое замыкание по высокой частоте в КВ диапазоне. Этим условиям подходят антенны, использующие U-симметрирующие устройства, петлевые вибраторы, рамочные антенны. При использовании дипольных ТВ антенн необходимо с помощью дросселя, содержащего 10-20 витков провода ПЭЛ-1 на каркасе ⌀10-20 мм создать короткое замыкание тока высокой частоты КВ диапазона (рис.9).

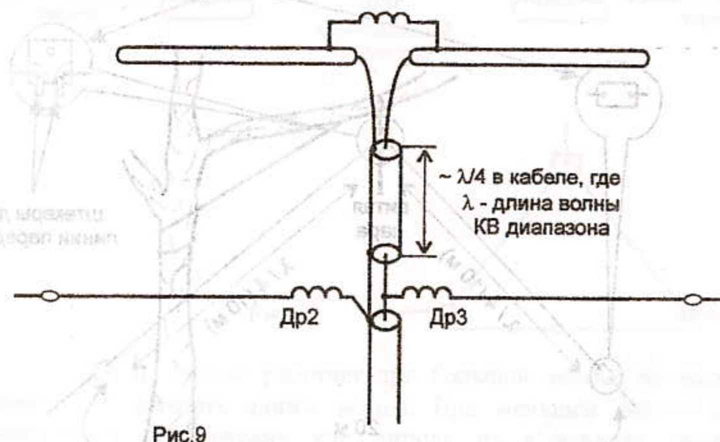


Рис.9

Глава 3. Простые антенны для экспедиционной работы.

Антенны для работы в экспедиции должны быть легкими и универсальными, т.е. обеспечить работу в нескольких диапазонах и возможность установки с помощью подручных предметов. Желательно, чтобы для антенн использовались предметы, служащие для обеспечения экспедиции.

1. Дипольные и рамочные антенны.

Классическим вариантом таких однодиапазонных антенн является антенна, предложенная W1FB. Она представляет собой четвертьволновый диполь, который с помощью рыболовной лески можно поднять на необходимую высоту. Полотно антенны растягивается с помощью такой же лески (рис.1).

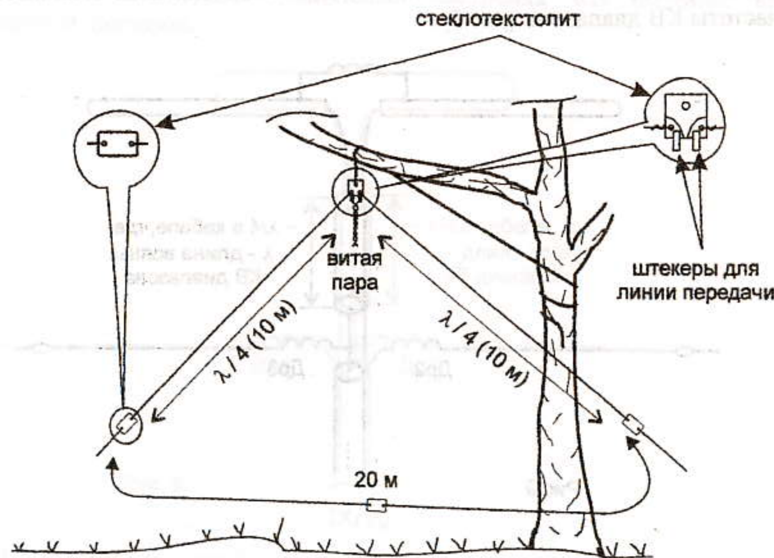


Рис. 1

Вибраторы можно выполнить из медной проволоки диаметром 0,6-1 мм. Центральный и боковые изоляторы выполняются из фольгированного стеклотекстолита толщиной 1 мм, оттягивающая леска длиной 10 м, общая длина полотна антенны для работы в 40-метровом диапазоне 20 метров. Центральная леска была 30 метров длиной, что дало возможность забрасывать ее высоко на дерево с помощью грузика на ее конце (для этого можно использовать даже рогатку). Кабель питания должен быть легким и тонким. Оказалось возможным использовать витую пару провода, используемую в телефонии. При использовании витой пары в качестве кабеля КСВ был равен 1,2. Витая пара была длиной 20 м. К вибраторам она присоединялась с помощью штекеров от старого разъема. В свернутом виде каждый вибратор скатывался на свою катушку, что дало возможность оперативно разворачивать антенну (рис.2).



Рис. 2



Рис. 3

Диполь хорошо работает при большой высоте подвеса – как минимум, в четверть длины волны. При меньшей высоте подвеса использовать эту антенну как диполь из-за влияния земли уже затруднительно. Можно попытаться использовать ее как IV, но в условиях экспедиции трудно осуществить ее настройку. Гораздо лучше будет превратить такую антенну в дельту с помощью дополнительного куска 20-метрового провода, присоединенного с помощью штекеров от старого разъема. Как показывает опыт, такая антенна удовлетворительно работает и при малых высотах подвеса. Эту антенну нетрудно

превратить в многодиапазонную. Например, если удлиняющий 20-метровый отрезок провода сделать разъемным, то получится диполь на 80 м. Для этого необходимо использовать дополнительные оттяжки из лески. При закорачивании диполей коротким проводником получим дельту на 20 м (рис.3). Если полотно вибраторов разметить краской, то можно сконструировать антенну на 10-40 м, если при установке антенны отматывать только куски длиной, необходимой для работы в соответствующем диапазоне (рис.5).

2. Лучевая антенна.

Как показывает опыт многих экспедиций, наиболее универсальной антенной, которая может выручить при выходе из строя основных антенн, является провод длиной 41 м. Такая антенна подключается к трансиверу без кабеля, напрямую. Можно питать ее и по способу



Рис. 4

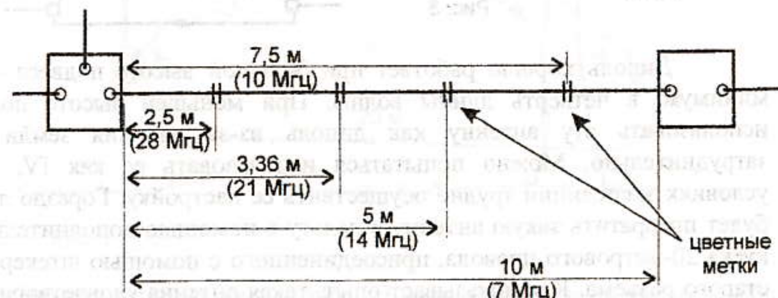


Рис. 5

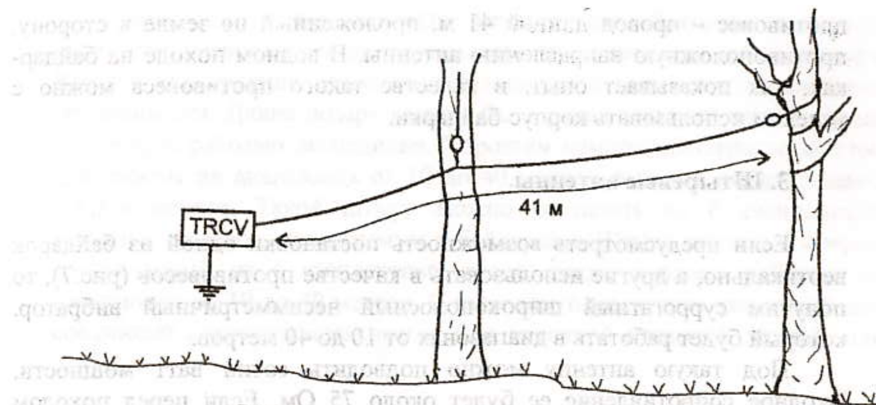


Рис. 6

UA3AIC (Р/Л № 8, 1992). Такая антенна работает в диапазонах от 160 до 10 м. При ее установке необходимо верхний конец приподнять как можно выше. Если есть возможность, желательно с помощью лески оттянуть середину или край антенны так, чтобы она была как можно выше поднята над землей (рис.6). Для такой антенны необходим



Рис. 7

противовес – провод длиной 41 м, проложенный по земле в сторону, противоположную направлению антенны. В водном походе на байдарках, как показывает опыт, в качестве такого противовеса можно с успехом использовать корпус байдарки.

3. Штыревые антенны.

Если предусмотреть возможность постановки одной из байдарок вертикально, а другие использовать в качестве противовесов (рис.7), то получим суррогатный широкополосный несимметричный вибратор, который будет работать в диапазонах от 10 до 40 метров.

Под такую антенну можно подводить сотни ватт мощности. Входное сопротивление ее будет около 75 Ом. Если перед походом изготовить сочленяющие трубки для ручек алюминиевых весел, то можно штырь сделать и из них, а байдарки использовать как противовесы (рис.8).

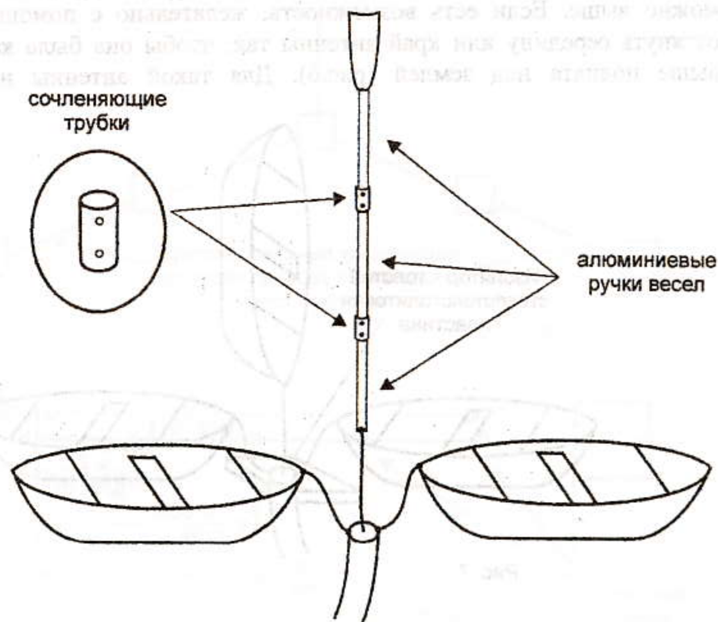


Рис. 8

Весло на конце антенны служит своеобразной емкостной нагрузкой, позволяющей расширить частотный диапазон работы штыря. Все эти конструкции предполагают наличие оттяжек для обеспечения устойчивости. Длина штыря должна быть равна четверти длины волны, на которой работает экспедиция. Хорошим компро-миссным вариантом для работы на диапазонах от 10 до 40 метров является штырь длиной 8,1-8,6 метров. Такой штырь можно составить из 8 стандартных рукояток от весел, прилагаемых к байдаркам. Штырь длиной 6 метров, составленный из 6 стандартных весел, также неплохо работает на диапазонах от 10 до 40 метров. С выходом передатчика такую антенну соединяют коротким коаксиалом, или короткой открытой линией, или КАТВ.

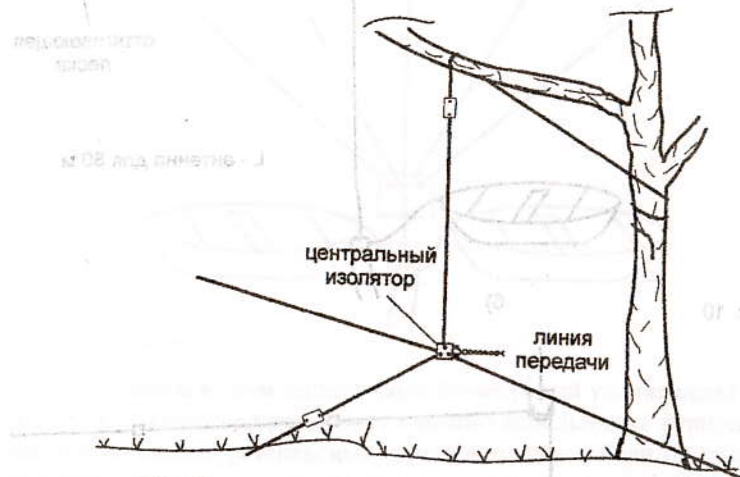
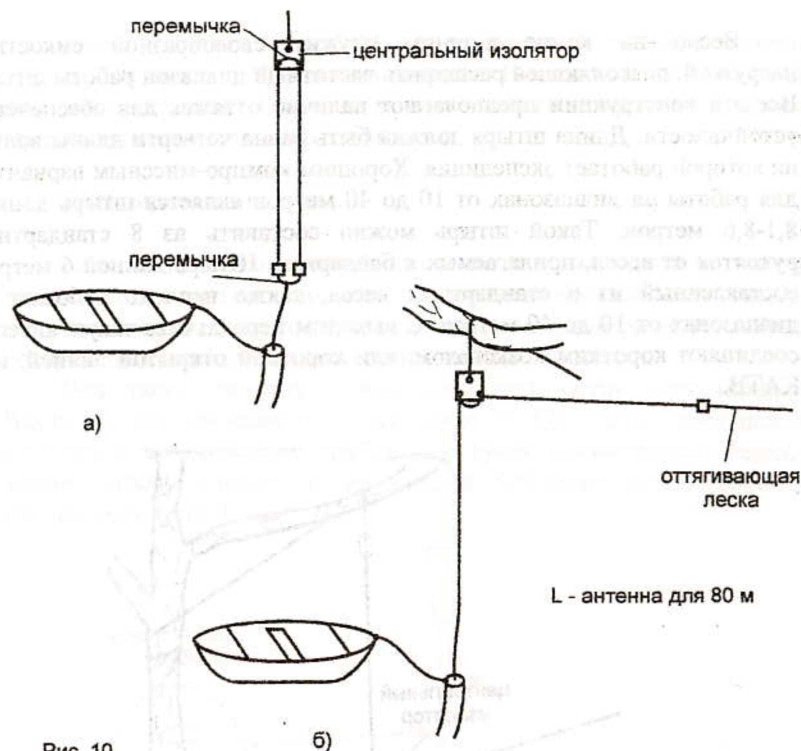


Рис. 9

Для штыревой антенны можно использовать антенну, изображенную на рис.9, если ее подвесить вертикально за крайний вибратор, а удлиняющий до дельты двадцатиметровый отрезок использовать как противовесы, которые подключают к штекерам от разъемов, припаянных к центральному изолятору, выполненному из фольгированного стеклотекстолита. Для более эффективной работы антенны можно использовать корпуса байдарки в качестве противовесов. Такую антенну



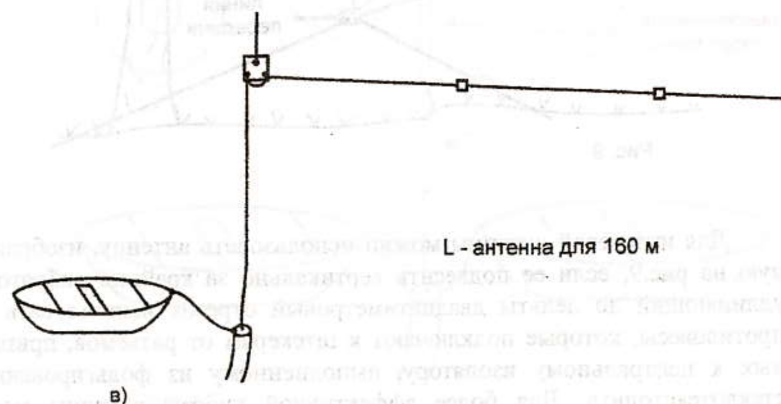


Рис. 10

можно сделать и многодиапазонной. Для этого антенну, изображенную на рис.3, подвешивают за центральный изолятор при работе на 40 м (длина плеча 10 м, вибраторы соединяют параллельно (рис.10а), для работы (рис.10б) на 80 м поднимают одно плечо. Получается L-антенна.

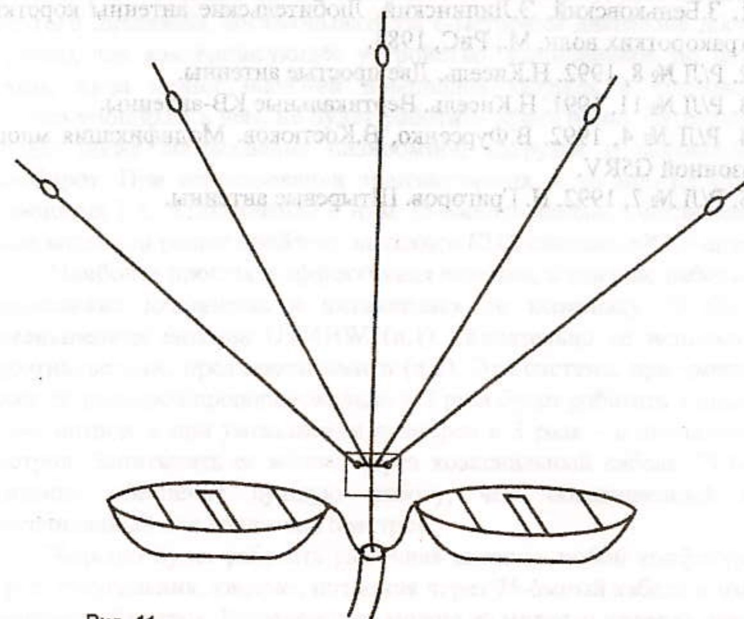


Рис. 11

Для работы в 160м подключают 20-метровый удлиняющий отрезок (рис.10в). В качестве противовесов можно использовать корпуса байдарок или несколько резонансных отрезков провода. Если по каким-либо причинам производить смену диапазонов изменением длины полотна антенны затруднительно, то можно использовать дискоконусную антенну. Она выполняется на основе антенны, изображенной на (рис.3).

В этом случае центральный изолятор находится около земли, а полотно антенны растягивается веером (рис.11). В качестве земли также можно использовать байдарки или заранее припаянные противовесы длиной, равной длине вибратора, используемого в полотне антенны. С длиной вибратора 10 м антенна работает в диапазоне от 10 до 40 м. Она хорошо согласуется с кабелем 50 или 75 Ом. Естественно, на этом описание антенн, которые можно использовать в походных условиях не

ограничивается. Некоторые из этих антенн, очевидно, можно использовать и при работе в стационарных условиях.

ЛИТЕРАТУРА:

1. З.Беньковский, Э.Липинский. Любительские антенны коротких и ультракоротких волн. М., РиС, 1983.

2. Р/Л № 8, 1992. Н.Кисель. Две простые антенны.

3. Р/Л № 11, 1991. Н.Кисель. Вертикальные КВ-антенны.

4. Р/Л № 4, 1992. В.Фурсенко, В.Костюков. Модификация многодиапазонной G5RV.

5. Р/Л № 7, 1992. Н. Григоров. Штыревые антенны.

Часть 4. Антенны диапазона 6 м.

В силу своей специфики 6-метровый диапазон требует применения антенн, рассчитанных специально для него. Антенну, рассчитанную для другого диапазона, согласовывать на 6-метровом диапазоне достаточно трудно, так как согласующее устройство, выполненное по любой из схем, из-за малых значений номиналов катушек и конденсаторов, использующихся в нем, не будет работать эффективно. Затруднительно будет также согласование низкоомной нагрузки в высокоомную и наоборот. При использовании транзисторных, а во многих случаях и ламповых РА, подключение к ним 75-омного кабеля с согласованной с ним антенной решит проблему высокого КПД системы «РА – антенна».

Наиболее простая и эффективная антенна, к тому же работающая в нескольких диапазонах и питающаяся по коаксиалу 75 Ом – это уменьшенная антенна UW4HW (л.1). Желательно ее использовать с противовесами, предложенными в (л.2). Эта система, при уменьшении всех ее размеров пропорционально в 2 раза будет работать в диапазонах 15-6 метров, а при уменьшении размеров в 3 раза – в диапазонах 10-6 метров. Запитывать ее можно через коаксиальный кабель 75 Ом. Эта антенна обеспечит лучшую работу, чем обыкновенный штырь, рассчитанный для диапазона 6 метров.

Хорошо будет работать рамочная антенна любой конфигурации – круг, треугольник, квадрат, питаемая через 75-омный кабель и имеющая периметр 6 метров. Выполнить ее можно из медного провода диаметром 1-3 мм.

При размещении на расстоянии от 0,9 до 1,2 метра относительно активного элемента рефлектора такой же конфигурации с периметром 6,3 метра получим двухэлементную рамочную антенну. Питать ее также лучше через 75-омный коаксиал. Усиление по мощности относительно диполя рамочная антенна в зависимости от конфигурации и размещения обеспечит от 2 до 3 дБ, рамочная антенна с рефлектором даст же не менее 5 дБ.

Очень хорошо работает антенна типа ZL (рис.1) (3). Эта антенна должна быть размещена на высоте не менее 3 метров от земли. Ее полотно может быть выполнено из провода диаметром 1-3 мм. Антенна широкополосна и не нуждается в настройке при условии точного выполнения по чертежу. Коэффициент усиления такой антенны в прямом направлении не менее 5,5 дБ над диполем, ослабление

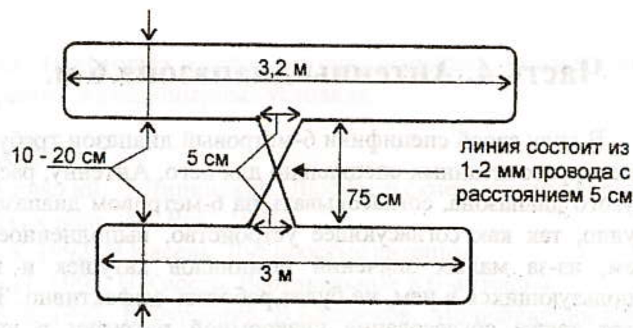




Рис. 1

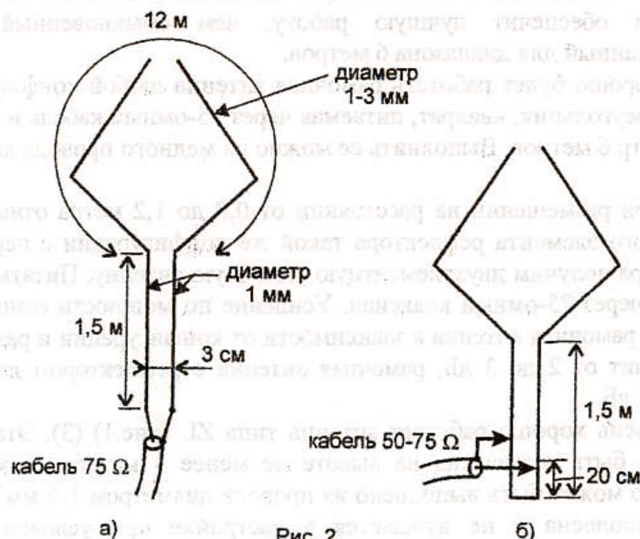


Рис. 2

обратного лепестка может достигать 40 дБ. Для питания необходим кабель 75 Ом.

Хорошие результаты даст и использование открытой рамки (рис.2). Усиление, обеспечиваемое ею, составляет не менее 5,5 дБ над диполем при том, что эта антенна имеет диаграмму направленности в форме восьмерки. Поскольку эта антенна имеет высокое входное сопротивление, то для согласования с кабелем питания 75 Ом она должна включаться через четвертьволновый трансформатор (рис.2а).

Более тщательное согласование может обеспечить устройство, показанное на (рис.2б). Здесь точки подключения кабеля любого сопротивления – 50 или 75 Ом – подбирают по наименьшему КСВ. При размещении на расстоянии 0,9-1,2 м рефлектора длиной 12,6 м получится двухэлементная антенна, обеспечивающая усиление не менее 8,5 дБ над диполем. Согласование и питание двухэлементной и одноэлементной антенн аналогичны.

ЛИТЕРАТУРА :

1. Радио № 12, 1968 г.
2. Радиолюбитель № 6, 1991 г.
3. К. Ротхаммель. Антенны, М., Энергия, 1979 г.

Часть 5. Антенны диапазона 27 МГц.

Новый диапазон гражданской связи 27 МГц дал возможность выйти в эфир многим и многим тысячам радиолюбителей. Но рано или поздно перед владельцем такой радиостанции встает вопрос об увеличении дальности связи. Это может быть необходимо для связи с удаленным объектом – к примеру, дачей, с местом отдыха – охоты или рыбалки, или со знакомыми владельцами радиостанций на 27 МГц, проживающих на значительном удалении.

Возможно, вы увлечетесь и дальней связью на 27 МГц и коллекционированием QSL. В мире сотни тысяч людей увлекаются этим и QSL-карточки СВ-станций, на мой взгляд, гораздо красивее карточек коротковолновиков.

Во всяком случае, проведение дальней связи с той штыревой антенной, которая иногда прилагается к радиостанции невозможно. Необходимо иметь эффективную наружную антенну. Но антенну необходимо еще соответствующим образом присоединить к передатчику.

Большинство импортных передатчиков СВ-связи имеет байонетный антенный разъем, что позволяет отсоединить штыревую антенну и подключить наружную (рис.1). Такой передатчик позволяет подключить 50-Омный коаксиальный кабель, нагруженный на антенну сопротивлением от 36 до 100 Ом.

Антенны, описанные в этой статье, как раз и будут подходить под эти параметры. Трансиверы СВ-связи производства СНГ и простые зарубежные трансиверы могут не иметь такого разъема. В случае использования вашего трансивера для дальней связи такой разъем необходимо установить. Далее выход таких передатчиков для согласования его с 75- или 50-Омным кабелем будет нуждаться в простом согласующем устройстве, изображенном на рис.2.

Применение такого устройства желательно и для трансиверов, имеющих разъем для подключения внешней антенны.

Катушка индуктивности, используемая в согласующем устройстве, бескаркасная. Она намотана медным проводом диаметром 1-2 мм на оправке диаметром 2,2 см и растянута на длину 4 см.

Количество витков – 10. Кабель первоначально подключается ко 2-му витку катушки, а антенна трансивера к 4-му. Конденсатор переменой емкости должен быть воздушным. Использование керамического

подстроечного конденсатора ведет к снижению КПД устройства. Конструктивно устройство можно оформить в виде, показанном на (рис.3).

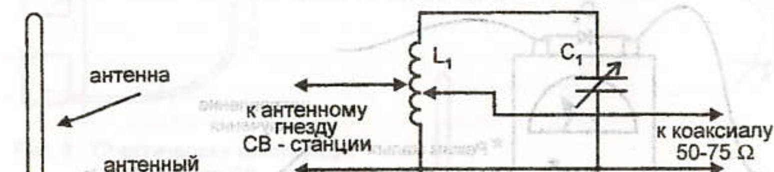


Рис. 2 Схема согласующего устройства

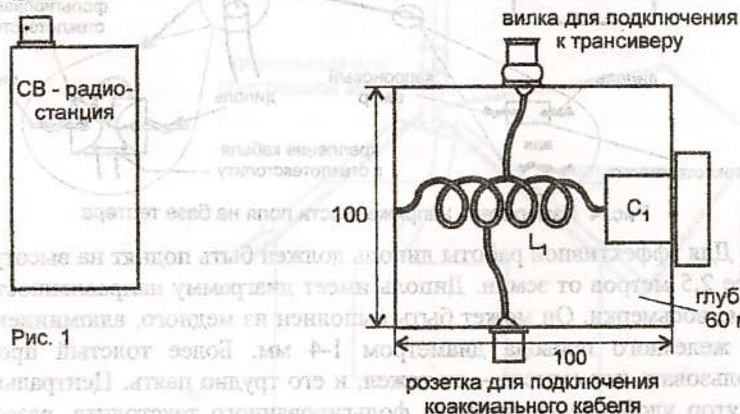


Рис. 1

Рис. 3 Конструкция согласующего устройства

Коробка должна быть выполнена из металла – меди или фольгированного стеклотекстолита. Стыки необходимо тщательно пропаять. После настройки коробка может быть закрыта крышкой, и конденсатор подстраивают еще раз. Настроить согласующее устройство можно, используя сигналы СВ-станций или используя простейший ВЧ – вольтметр – это тестер, поставленный в измерение напряжения, к гнездам которого подключен диод, а щупы «разбросаны» (рис.4). Присоединяя антенну и выход трансивера к разным виткам катушки, добиваются максимума отклонения стрелки тестера или максимума приема сигнала. Но для настройки согласующего устройства, конечно, необходима антенна. Любителям дальней СВ-связи необходимо

помнить – антенна для DX должна быть или высокой или длинной. Обычно на дачах и в частном доме нет проблем с установкой антенны. Это может быть простой диполь (рис.5) или штырь (рис.6).

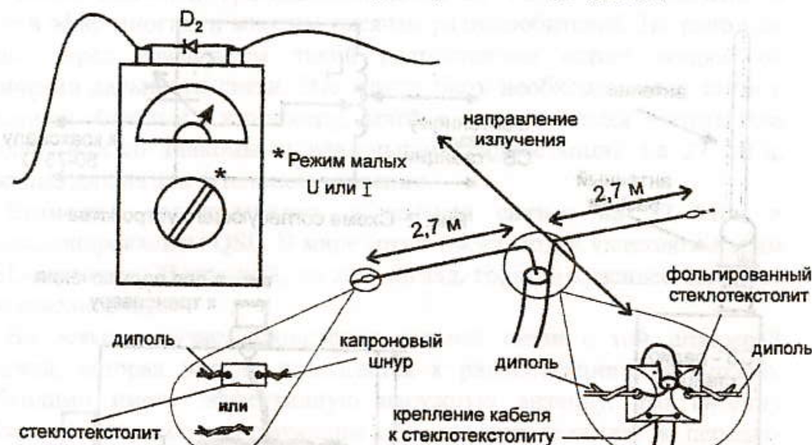


Рис. 4 Измеритель напряженности поля на базе тестера

Для эффективной работы диполь должен быть поднят на высоту не менее 2,5 метров от земли. Диполь имеет диаграмму направленности в форме восьмерки. Он может быть выполнен из медного, алюминиевого или железного провода диаметром 1-4 мм. Более толстый провод использовать нет смысла – он тяжел, и его трудно паять. Центральный изолятор удобно выполнить из фольгированного текстолита, разрезав фольгу посередине. Кабель можно или непосредственно припаять к фольге или сделать его изогнутым, что лучше, так как в этом случае кабель лучше защищен от попадания влаги внутрь.

В любом случае, раскрытый кабель следует защищать с помощью парафина или эпоксидной смолы от влаги.

Концевые изоляторы можно также выполнить из толстого стеклотекстолита, фольгированного и нефольгированного, а можно и просто привязать оттягивающий капроновый шнур или леску к полотну антенны.

Желательно, чтобы кабель от дипольной антенны был перпендикулярен полотну антенны хотя бы 2,5 метра. Эту антенну можно располагать не только параллельно земле, но и вертикально и под углом к ней.

Для штыревой антенны можно использовать в качестве изолятора

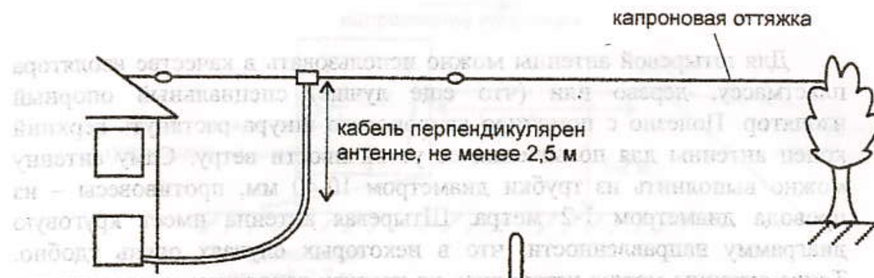
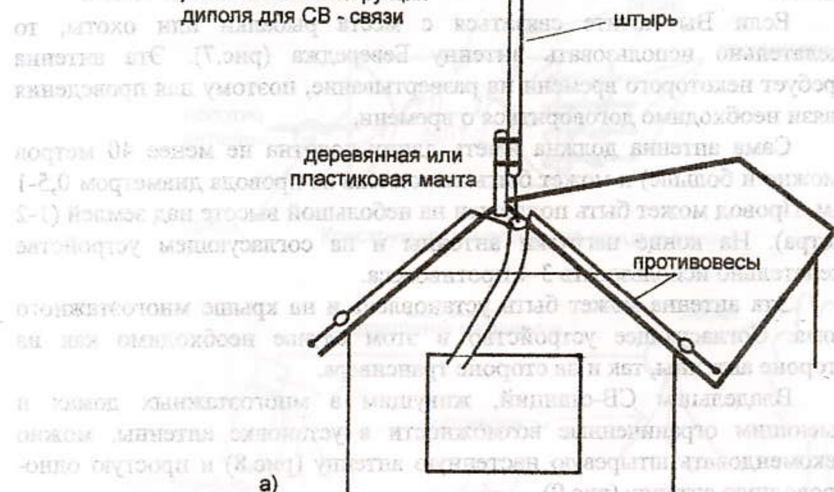


Рис. 5 Практическая конструкция диполя для СВ - связи



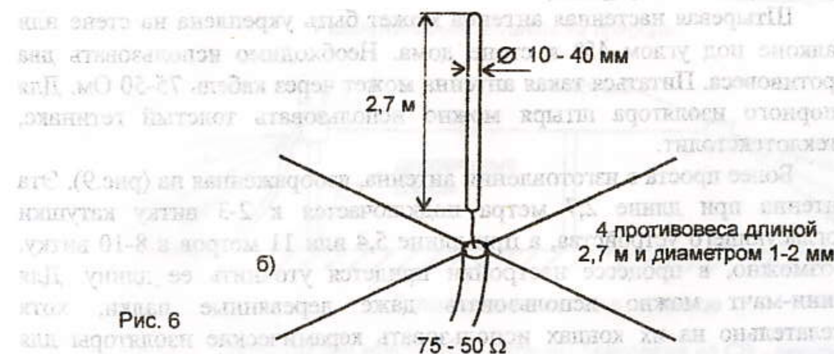


Рис. 6

Для штыревой антенны можно использовать в качестве изолятора пластмассу, дерево или (что еще лучше) специальный опорный изолятор. Полезно с помощью капронового шнура растянуть верхний конец антенны для повышения ее устойчивости ветру. Саму антенну можно выполнить из трубки диаметром 10-40 мм, противовесы – из провода диаметром 1-2 метра. Штыревая антенна имеет круговую диаграмму направленности, что в некоторых случаях очень удобно. Такие антенны можно установить на крышах городских многоэтажных домов.

Если Вы хотите связаться с места рыбалки или охоты, то желательно использовать антенну Бевереджа (рис.7). Эта антенна требует некоторого времени на развертывание, поэтому для проведения связи необходимо договориться о времени.

Сама антенна должна иметь длину полотна не менее 40 метров (можно и больше) и может быть выполнена из провода диаметром 0,5-1 мм. Провод может быть подвешен на небольшой высоте над землей (1-2 метра). На конце нагрузки антенны и на согласующем устройстве желательно использовать 3-4 противовеса.

Эта антенна может быть установлена и на крыше многоэтажного дома. Согласующее устройство в этом случае необходимо как на стороне антенны, так и на стороне трансивера.

Владельцам СВ-станций, живущим в многоэтажных домах и имеющим ограниченные возможности в установке антенны, можно рекомендовать штыревую настенную антенну (рис.8) и простую однопроводную антенну (рис.9).

Штыревая настенная антенна может быть укреплена на стене или балконе под углом 45° к стене дома. Необходимо использовать два противовеса. Питаться такая антенна может через кабель 75-50 Ом. Для опорного изолятора штыря можно использовать толстый гетинакс, стеклотекстолит.

Более проста в изготовлении антенна, изображенная на (рис.9). Эта антенна при длине 2,7 метра подключается к 2-3 витку катушки согласующего устройства, а при длине 5,4 или 11 метров в 8-10 витку. Возможно, в процессе настройки придется уточнить ее длину. Для мини-мачт можно использовать даже деревянные палки, хотя желательно на их концах использовать керамические изоляторы для крепления антенны и стеклотекстолитовые или керамические изоляторы для ее оттяжки. Недостаток такой антенны – непосредственное

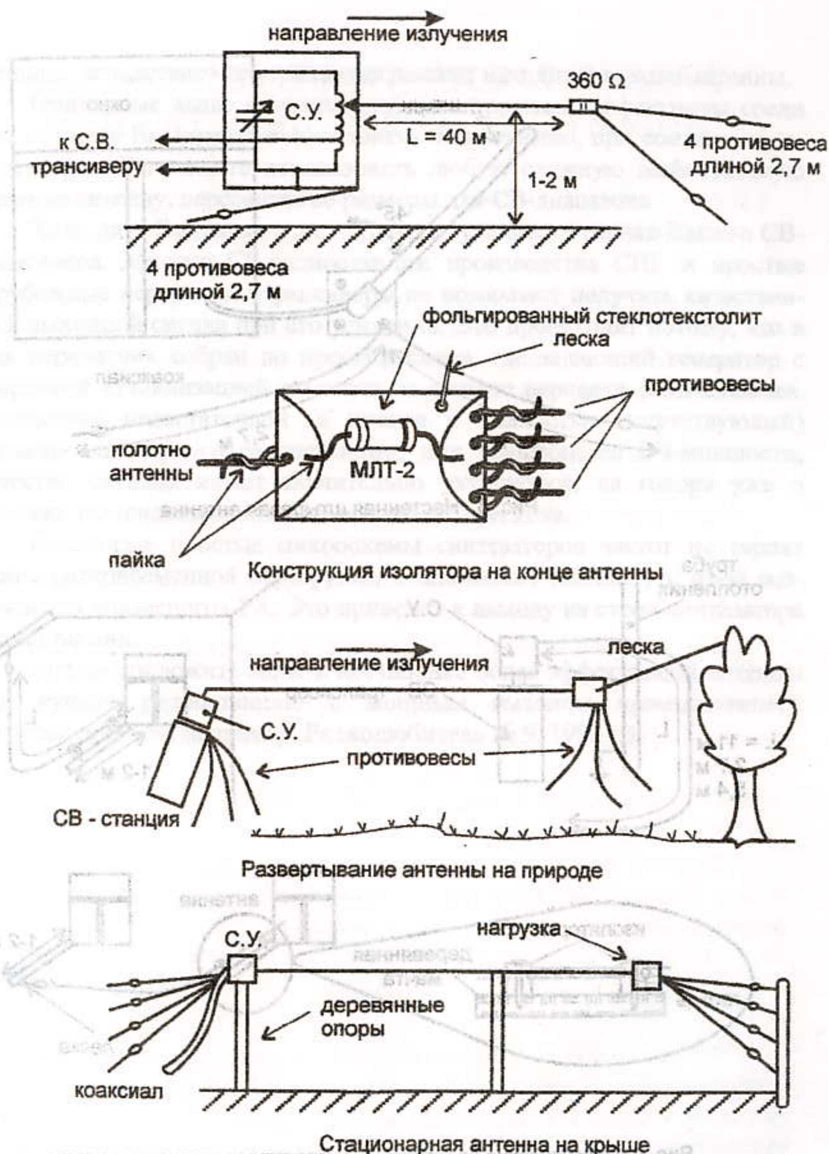


Рис. 7 Практические конструкции антенны Бевереджа на СВ - диапазон

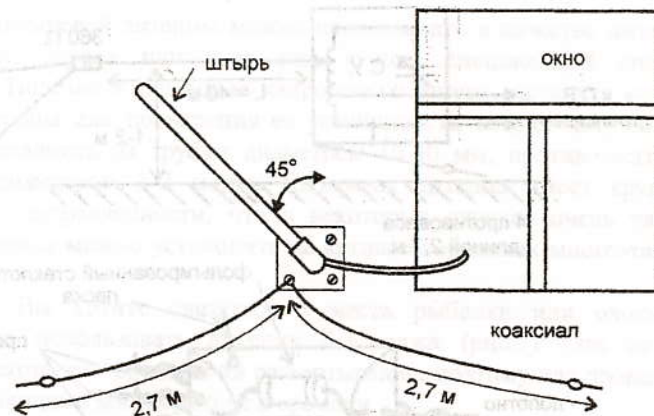


Рис. 8 Настенная штыревая антенна

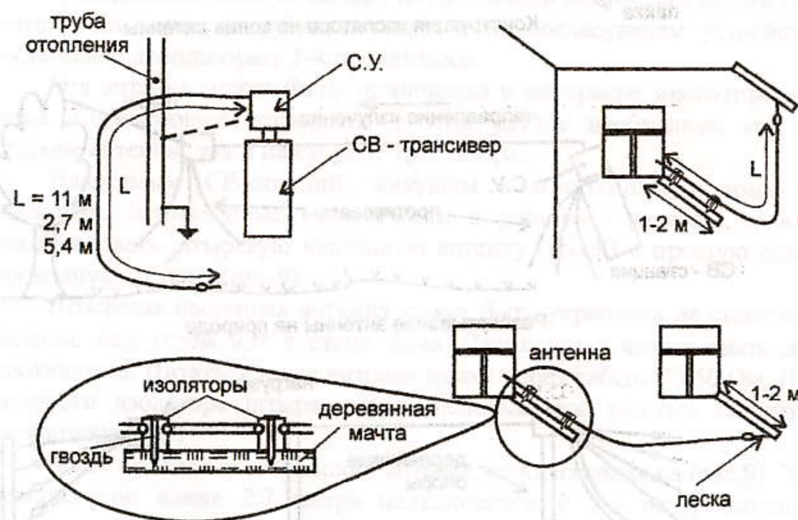


Рис. 9 Практические конструкции суррогатных городских антенн

питание, вследствие чего трансивер должен находиться около антенны.

Описанные выше антенны наиболее просты и эффективны среди тех, которые Вы можете использовать. Естественно, при соответствующем опыте Вы можете использовать любую сложную любительскую связную антенну, пересчитав ее размеры для СВ-диапазона.

Хочу дать Вам совет – не пытайтесь усиливать сигнал Вашего СВ-трансивера. Многие СВ-радиостанции производства СНГ и простые зарубежные переносные трансиверы не позволяют получить качественный выходной сигнал при его усилении. Это происходит потому, что в них передатчик собран по простой схеме, где задающий генератор с кварцевой стабилизацией работает на частоте передачи радиостанции. Вследствие недостаточной (а иногда и полностью отсутствующей) экранировки корпуса радиостанции, при усилении ее ВЧ-мощности, качество сигнала может значительно ухудшаться, не говоря уже о помехах телевидению, которые возникнут при этом.

Некоторые простые микросхемы синтезаторов частот не терпят даже кратковременной перегрузки, а она может возникнуть из-за возбуждения «навесного» РА. Это приведет к выходу из строя синтезатора радиостанции.

Лучше приложите силы к постановке более эффективной антенны или купите радиостанцию с мощным выходом промышленного изготовления (см. например, Радиолюбитель № 9, 1992 г.).

РАЗДЕЛ 2. ФИДЕРНЫЕ УСТРОЙСТВА ЛЮБИТЕЛЬСКИХ РАДИОСТАНЦИЙ.

Глава 1. Линии передач. Коаксиал или двухпроводная линия. Суррогатные и самодельные фидеры.

Сейчас стоимость коаксиальных кабелей растет не по дням, а по часам, качество же их падает так же сильно. Но во многих случаях, особенно тем, кто только начинает свою работу на 160 метров, можно обойтись и без покупки коаксиального кабеля.

1. Работа линий передачи.

Рассмотрим упрощенно теорию линий передач. Есть три режима работы линии – работа на согласованную нагрузку, работа на нагрузку большую волнового сопротивления линии и на нагрузку меньшую волнового сопротивления линии (рис.1).

Режим на рис.1а называют режимом бегущей волны. В этом случае $U_{макс.} = U_{мин.}$, $R_н = Z_л$

Режим на рис. 1б и 1в называют режимом работы линии со стоячей волной. Коэффициент стоячей волны К, который равен

$К = U_{макс} / U_{мин} = I_{макс} / I_{мин}$,

или $К = Z_л / R_н$, когда $Z_л > R_н$,

или $К = R_н / Z_л$, когда $R_н > Z_л$.

Понятно, что в режиме бегущей волны фидерная линия используется оптимально. Если же антенная система работает с КСВ, то фидерная линия используется не оптимально.

2. Коаксиальные линии передач.

Эти линии, не без помощи радиолюбителей, широко стали использовать во время второй мировой войны. Коаксиальная линия представляет собой провод 1, окруженный диэлектриком 2, и заключенный в металлическую оплетку 3, которая в свою очередь защищена пластиковой оболочкой 4 (рис.2). Все электромагнитное поле такой линии заключено внутри нее, поэтому ее можно располагать как угодно (сгибать, свивать в бухту) и где угодно (около металла и даже под водой.

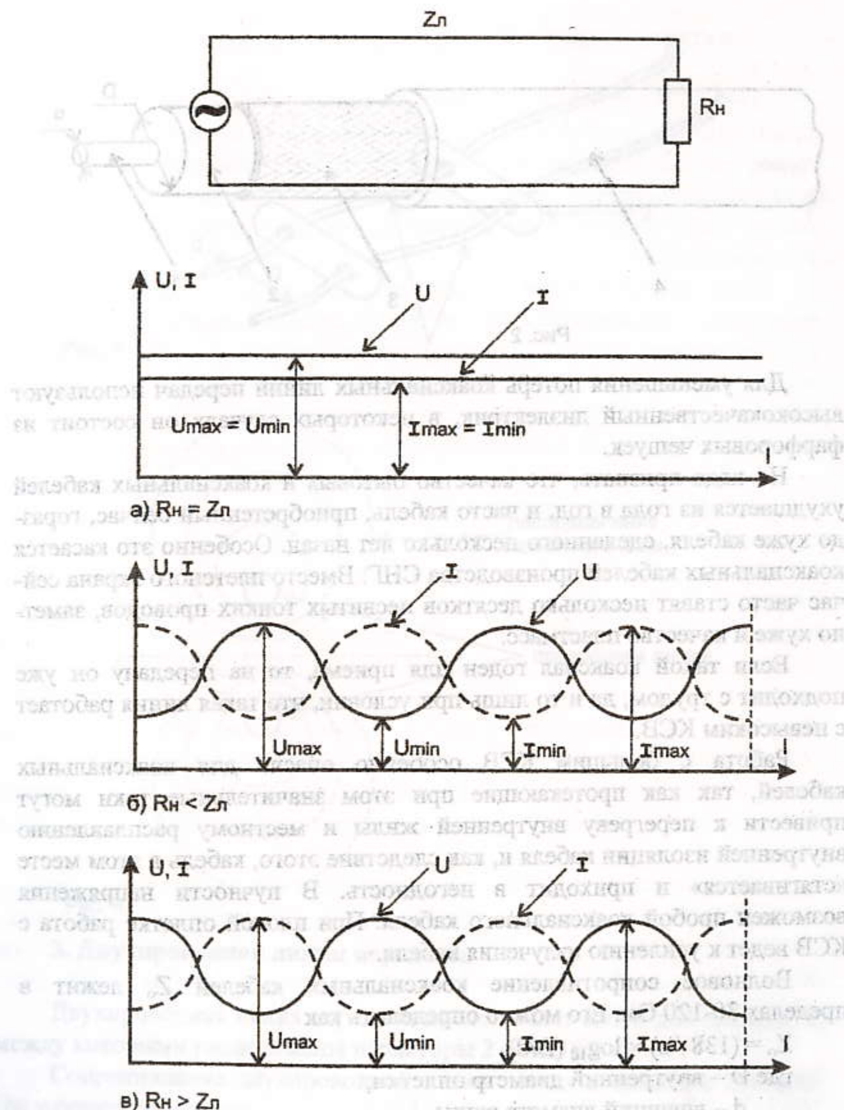


Рис 1

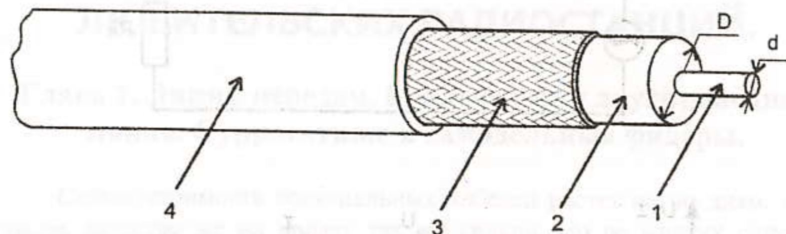


Рис. 2

Для уменьшения потерь коаксиальных линий передач используют высококачественный диэлектрик, в некоторых случаях он состоит из фарфоровых чешуек.

Но надо признать, что качество бытовых и коаксиальных кабелей ухудшается из года в год, и часто кабель, приобретенный сейчас, гораздо хуже кабеля, сделанного несколько лет назад. Особенно это касается коаксиальных кабелей производства СНГ. Вместо плетеного экрана сейчас часто ставят несколько десятков несвитых тонких проводов, заметно хуже и качество пластмасс.

Если такой коаксиал годен для приема, то на передачу он уже подходит с трудом, да и то лишь при условии, что такая линия работает с невысоким КСВ.

Работа с большим КСВ особенно опасна для коаксиальных кабелей, так как протекающие при этом значительные токи могут привести к перегреву внутренней жилы и местному расплавлению внутренней изоляции кабеля и, как следствие этого, кабель в этом месте «стягивается» и приходит в негодность. В пучности напряжения возможен пробой коаксиального кабеля. При плохой оплетке работа с КСВ ведет к усилению излучения кабеля.

Волновое сопротивление коаксиальных кабелей Z_o лежит в пределах 30-120 Ом. Его можно определить как

$Z_o = (138 / \varepsilon) \times \log_{10} (D/d)$,

где D – внутренний диаметр оплетки,

d – внешний диаметр жилы,

ε – диэлектрическая постоянная внутренней изоляции кабеля.

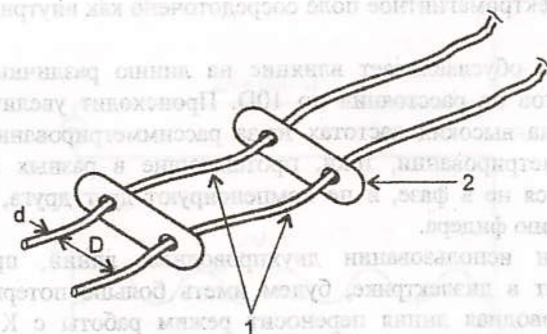


Рис. 3

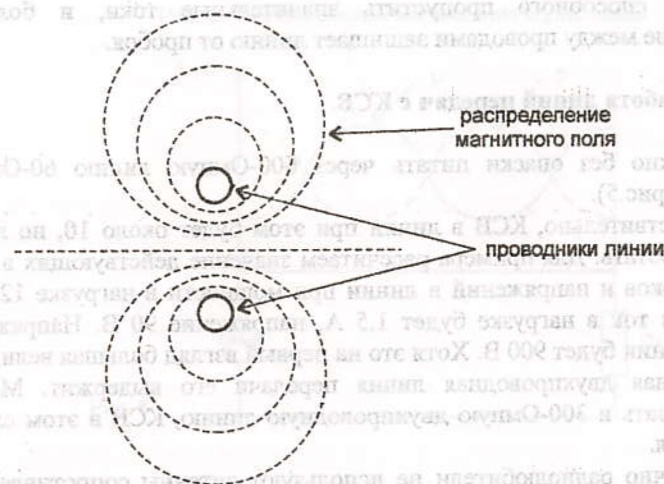


Рис. 4

3. Двухпроводная линия передачи.

Двухпроводная линия передачи представляет собой два провода 1, между которыми расположены изоляторы 2 (рис.3).

Сопротивление двухпроводной линии лежит в пределах 200-600-Ом и определяется как

$Z_л = 276 \log_{10} (D/d)$,

где D – расстояние между центрами проводников,

d – диаметр проводников.

Электромагнитное поле сосредоточено как внутри, так и за линией (рис.4).

Это обуславливает влияние на линию различных близлежащих предметов на расстоянии до 10D. Происходит увеличение излучения линии на высоких частотах из-за рассимметрирования антенны. При рассимметрировании, токи, протекающие в разных проводах линии находятся не в фазе, и не компенсируют друг друга, что приводит к излучению фидера.

При использовании двухпроводных линий, провода которых проходят в диэлектрике, будем иметь больше потери в нем на ВЧ. Двухпроводная линия переносит режим работы с КСВ значительно легче. Действительно, она обычно выполнена из достаточно толстого провода, способного пропустить значительные токи, и большое расстояние между проводами защищает линию от пробоя.

4. Работа линий передач с КСВ.

Можно без опаски питать через 600-Омную линию 60-Омную антенну (рис.5).

Действительно, КСВ в линии при этом будет около 10, но линия будет работать. Для примера рассчитаем значение действующих в этом случае токов и напряжений в линии при мощности в нагрузке 120 Вт. При этом ток в нагрузке будет 1,5 А, напряжение 90 В. Напряжение пика в линии будет 900 В. Хотя это на первый взгляд большая величина, но обычная двухпроводная линия передачи его выдержит. Можно использовать и 300-Омную двухпроводную линию, КСВ в этом случае изменится.

Обычно радиолюбители не используют антенны сопротивлением выше 600 Ом. Но предположим, мы запитываем длинной линией полуволновой диполь на 40 м. Такая антенна имеет входные сопротивления около 75 Ом на 40-метровом диапазоне и около 1200 Ом на 20- и 10-метровых диапазонах.

Режим работы на 40 м мы рассмотрели выше. На 20 и 10 метрах, при использовании такой линии, КСВ будет около 2 (рис.6). Ток в антенне, при подводимой к ней мощности 120 Вт будет 0,3 А, напряжение на ней 380 В. Ток пика будет 0,6 А и напряжение пика 760 В, что очень немного практически для любой линии. Работа коаксиального кабеля при нагрузке больше и меньше его волнового сопротивления

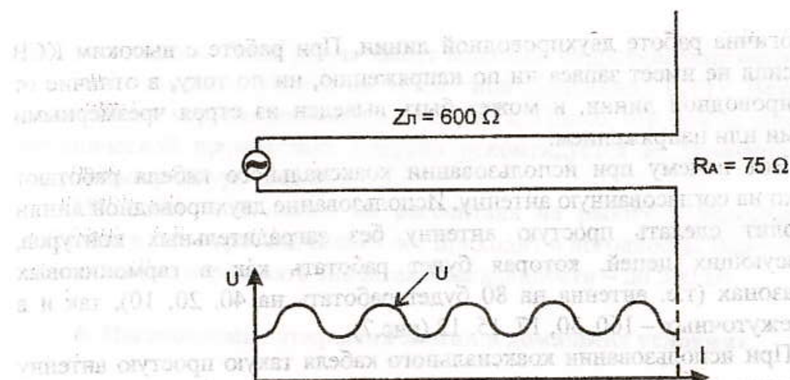


Рис. 5 Распределение напряжения вдоль линии

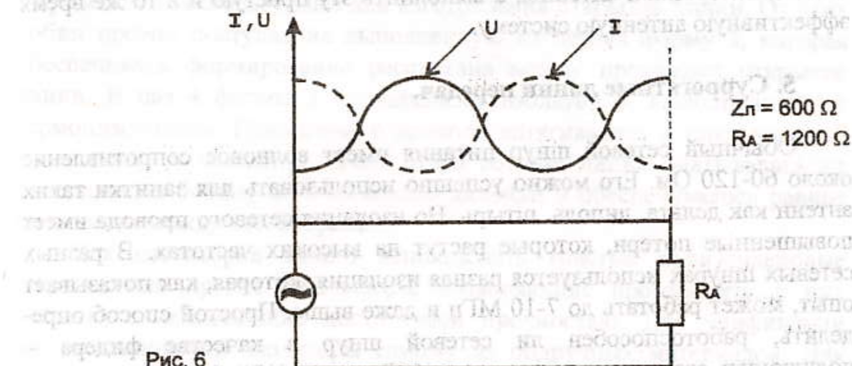


Рис. 6

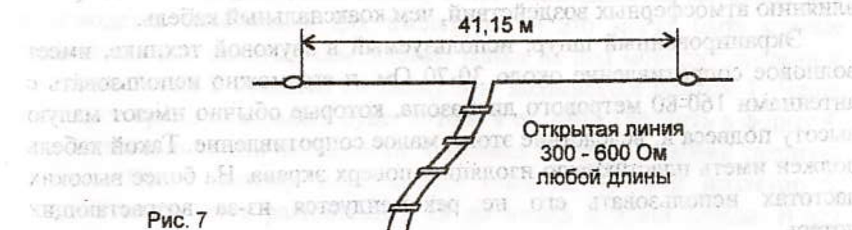


Рис. 7

аналогична работе двухпроводной линии. При работе с высоким КСВ коаксиал не имеет запаса ни по напряжению, ни по току, в отличие от двухпроводной линии, и может быть выведен из строя чрезмерными токами или напряжением.

Вот почему при использовании коаксиального кабеля работают только на согласованную антенну. Использование двухпроводной линии позволит сделать простую антенну без заградительных контуров, согласующих цепей, которая будет работать как в гармониковых диапазонах (т.е. антенна на 80 будет работать на 40, 20, 10), так и в промежуточных – 160, 30, 17, 15, 12 (рис.7).

При использовании коаксиального кабеля такую простую антенну построить невозможно. Можно рекомендовать начинающим коротко-волновикам не мучиться с поисками качественного коаксиального кабеля, настройкой антенны, а выполнить эту простую и в то же время эффективную антенную систему.

5. Суррогатные линии передач.

Обычный сетевой шнур питания имеет волновое сопротивление около 60-120 Ом. Его можно успешно использовать для запитки таких антенн как дельта, диполь, штырь. Но изоляция сетевого провода имеет повышенные потери, которые растут на высоких частотах. В разных сетевых шнурах используется разная изоляция, которая, как показывает опыт, может работать до 7-10 МГц и даже выше. Простой способ определить, работоспособен ли сетевой шнур в качестве фидера – подключить его к антенне, измерить КСВ, и если КСВ будет Вас устраивать, попробовать шнур на ощупь. Если он теплый, а тем более горячий, использовать его на этой частоте нельзя. Такой фидер более подвержен влиянию атмосферных воздействий, чем коаксиальный кабель.

Экранированный шнур, используемый в звуковой технике, имеет волновое сопротивление около 30-70 Ом, и его можно использовать с антеннами 160-80 метрового диапазона, которые обычно имеют малую высоту подвеса и, вследствие этого, малое сопротивление. Такой кабель должен иметь пластиковую изоляцию поверх экрана. На более высоких частотах использовать его не рекомендуется из-за возрастающих потерь.

Двухпроводная линия типа «лапша», используемая для прокладки радио и телефонной сети идеально подходит в качестве высокоомного

фидера питания. Такая линия имеет волновое сопротивление около 600 Ом, что позволяет питать антенны типа Цеппелин, T2FD, Beverage. Такая линия хорошо работает и до 30 МГц. Плохо, что она не обладает механической прочностью, поэтому рекомендуется ее прикреплять к капроновому шнуру (рис.8).

Изоляция этой линии не рассчитана на работу в атмосферных условиях и уже через несколько лет приходит в негодность. Через такую линию можно передавать значительные мощности – до 200 Вт.

6. Изготовление открытой линии в домашних условиях.

Для изготовления открытой линии мной был изготовлен станок (рис.9). Он состоял из доски 1, на которой были укреплены две бобины с проводом 2, используемые для изготовления открытой линии. От этих бобин провод поступал на выполненную из дерева форму 3, которая обеспечивала формирование расстояния между проводами открытой линии. В паз 4 формы 3 закладывался изолятор 5, выполненный из термопластмассы. Прижимом 6 провода натягивались и паяльником 7 вплавлялись в изолятор. После этого готовая линия сматывалась на самодельную бобину 8. С помощью линейки 9 обеспечивалось равное расстояние между изоляторами.

Для изоляторов можно использовать толстые полиэтиленовые стержни или другие пластмассы, позволяющие производить в них заплавку и обладающие достаточной прочностью. Для унификации можно выполнить изоляторы самому из подручных материалов. Для этого берутся две пустые консервные банки (рис.10), причем банка 1 большего диаметра, чем банка 2.

В банке 2 формируется носик, в нее закладывается материал для производства пластмассы для изоляторов – это могут быть старые полиэтиленовые пакеты, пластиковые банки из-под моющих средств и т.д. затем банка 2 ставится на банку 3 и закрывается банкой 1. Через некоторое время пластмасса будет готова и ее можно разлить в форму 4. Эта форма выполнена из жести от консервной банки, которая свернута уголком. После заливки и остывания получим угловой изолятор 5, который после этого распиливают на заготовки нужной длины. В эту пластмассу провод легко вплавляется, и она обладает достаточной механической прочностью.

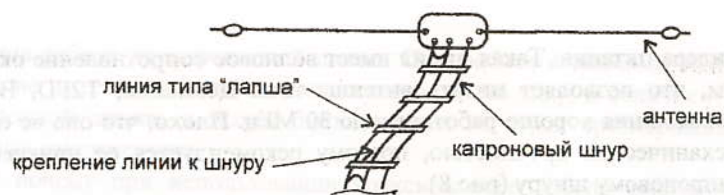


Рис. 8

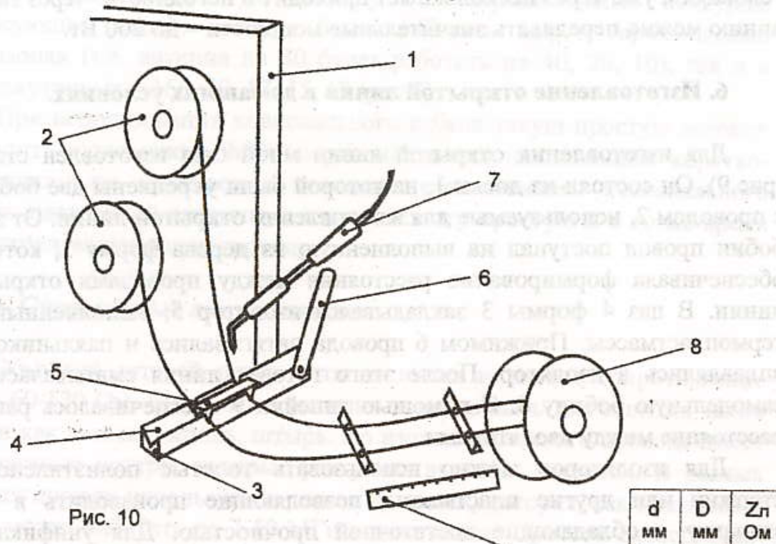


Рис. 10

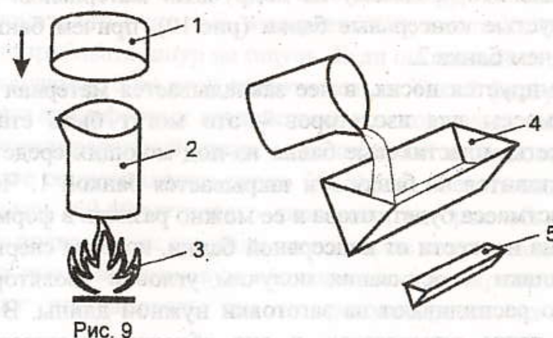


Рис. 9

d мм	D мм	Zл Ом
0,5	10	450
	18	500
	30	600
1	14	400
	20	450
	30	500
	40	600
2	12	300
	20	400

Таблица 1.

Из этой пластмассы можно изготовлять и мелкие детали (ручки, кнопки, каркасы для катушек) для радиолюбительских нужд. Работы по приготовлению и разливке пластмассы лучше производить на открытом воздухе или в хорошо проветриваемом помещении.

Таблица, приведенная здесь, окажет помощь в изготовлении самодельной открытой линии. Для линии лучше использовать медный одножильный провод в изоляции типа ПЭТВ-2 (влаготеплостойкий). При использовании неизолированного провода он со временем окислится, что ухудшит работу линии. Канатик с тонкими жилами в городских условиях под действием кислотных дождей и смога может быстро прийти в полную негодность, кроме того, он не обеспечивает достаточной жесткости линии.

ЛИТЕРАТУРА :

1. Г.И.Атабеков и др. Теоретические основы электротехники. М., Энергия, 1979.
2. Г.З.Айзенберг. Коротковолновые антенны. М., РиС, 1985.

Глава 2. Использование симметрирующих устройств в любительской связи.

При использовании симметричной антенны (рис.1а) с коаксиальным кабелем высокочастотный ток, который питает антенну, протекает по внутренней жиле коаксиального кабеля и внутренней стороне оболочки. В этом идеальном случае, при условии равенства волнового сопротивления кабеля сопротивлению антенны, КБВ равен единице и отсутствует рассимметрия.

Физически, КБВ можно определить и как коэффициент отношения мощности излученной волны в эфир и мощности подводимой передатчиком к антенне (рис.2). КСВ есть величина, обратная КБВ.

КСВ = 1 / КБВ.

Рассиметрирование антенны может произойти при неперпендикулярности положения кабеля к антенне (рис.1б). В этом случае на внешнюю оболочку кабеля наведется часть излученной антенной мощности, которая подведена к ней. Так как наведенное напряжение на фидере и затем проникающее в антенну отличается по фазе от подводимого от передатчика напряжения к этой антенне, то при суммировании этих напряжений и получается то, что мы называем стоячей волной (рис.1в). Но стоячая волна имеет четко «привязанные» к своей частоте пики и впадины. В случае возникновения КСВ из-за рассиметрирования может случится, что под действием ветра, положение кабеля в пространстве будет меняться, следовательно, будет меняться и величина фазы напряжения, наведенного на оболочку кабеля. В этом случае будет изменяться КСВ под действием ветра. Физически это будет выражено в изменении излучаемой мощности.

Чтобы этого не происходило, используют около антенны ВЧ дроссель (рис.3). Обычно он представляет собой несколько витков питающего антенну коаксиального кабеля, продетых через ферритовое кольцо (рис.3а) или 5-15 витков коаксиала, намотанных на пластиковом (пластиковые бутылки из-под шампуня и т.д.) каркасе или бескаркасная (рис.3б).

В этом случае дроссель представляет большое сопротивление для токов, протекающих по внешней оболочке кабеля, и не влияет на токи, протекающие внутри кабеля. Следствие этого – отсутствие проникновения наведенных токов на оболочку кабеля в антенну и, следовательно, уменьшение или даже полное прекращение рассимметрирования.

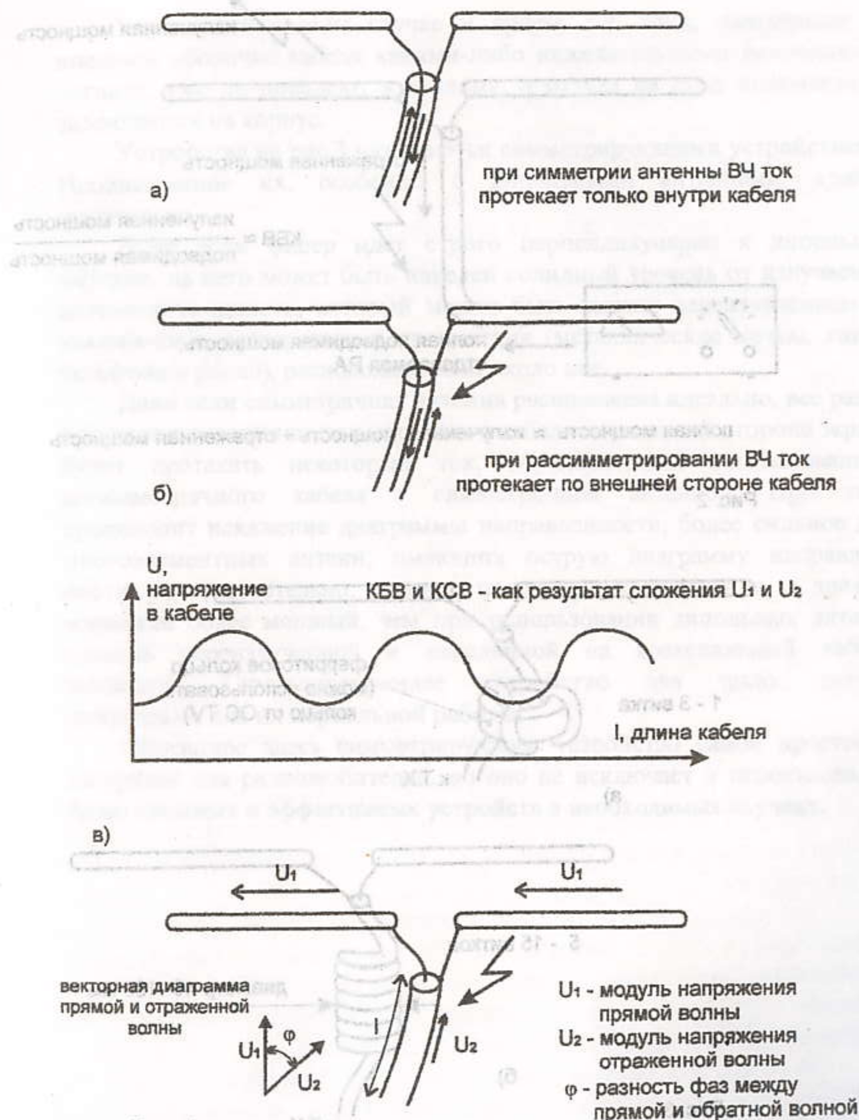


Рис. 1

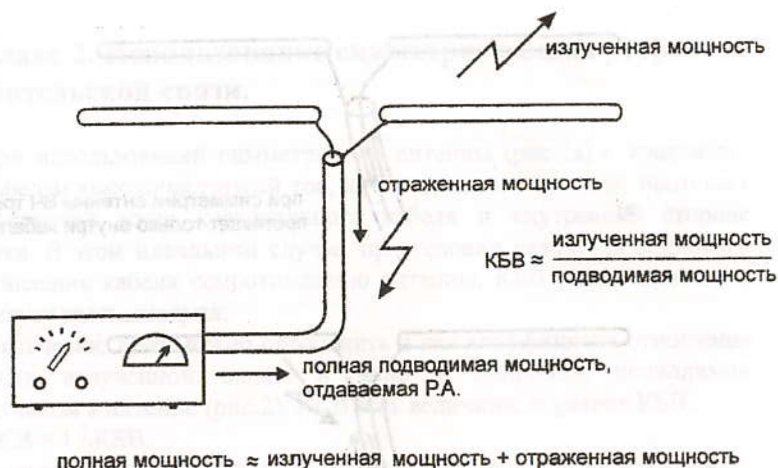


Рис. 2

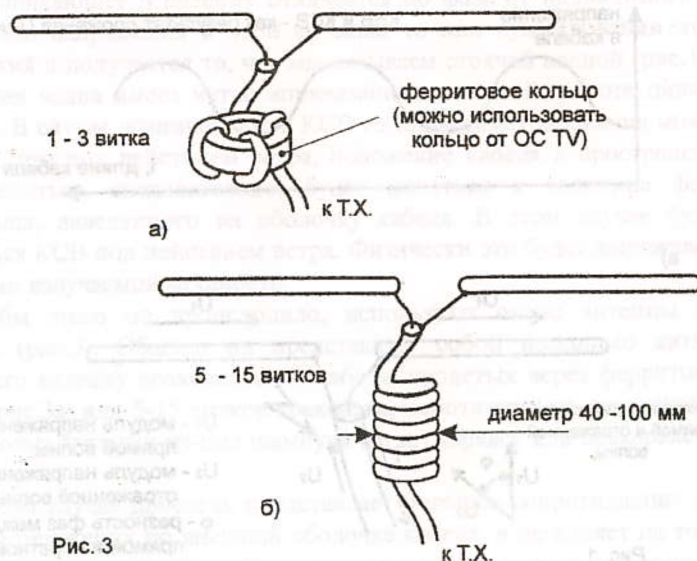


Рис. 3

Улучшается в этом случае и прием, т.к. токи, наведенные во внешней оболочке кабеля какими-либо нежелательными источниками сигнала, уже не попадают в антенну, и оттуда на вход приемника, а заземляются на корпус.

Устройства на рис.3 называются симметрирующими устройствами. Использование их, особенно с дипольными антеннами, крайне желательно.

Даже если фидер идет строго перпендикулярно к дипольной антенне, на него может быть наведен солидный уровень от излучаемой антенной мощности, который может быть вызван переизлучением ее какими-либо посторонними предметами (металлические мачты, линии телефона и радио), расположенными около нее.

Даже если симметричная антенна расположена идеально, все равно при использовании несимметричного кабеля по внешней стороне экрана будет протекать некоторый ток, обусловленный использованием несимметричного кабеля с симметричной антенной. При этом происходит искажение диаграммы направленности, более сильное для многоэлементных антенн, имеющих острую диаграмму направленности, и, следовательно, мощное направленное излучение, а значит, возможен более мощный, чем при использовании дипольных антенн, уровень переизлученной и наведенной на коаксиальный кабель мощности. Симмметрирующее устройство для таких антенн необходимо для их нормальной работы.

Описанное здесь симметрирующее устройство самое простое и доступное для радиолюбителей, но оно не исключает и использование более сложных и эффективных устройств в необходимых случаях.

Глава 3. Верны ли показания КСВ-метра ?

Многие радиолюбители имеют встроенный в трансивер КСВ-метр, собранный по схеме, аналогичный как в трансивере «Я строю КВРС» UA1FA. Именно от радиолюбителей, имеющих такие КСВ-метры, можно услышать о «чудесных антеннах» – антеннах, обеспечивающих КСВ, равный 1, и при этом никто не отвечает на нее, и антеннах, работающих с диким КСВ 3-5, при этом дающие возможность проводить DX-QSO.

На самом деле никаких чудес здесь нет. Речь идет только лишь о несогласовании выходного каскада с коаксиальным кабелем, и, как следствие этого, некорректность измерения. Действительно, если в идеальном случае выходное сопротивление трансивера точно равно волновому сопротивлению кабеля, то мы имеем только одну отраженную волну – от антенны, конечно, если эта антенна не согласована с кабелем. В этом случае показания КСВ-метра верны.

К сожалению, этот случай редок. Наиболее часто встречается ситуация, когда выходное сопротивление трансивера отличается от волнового сопротивления кабеля. В этом случае при рассогласовании антенны с кабелем отраженная волна, достигнув выхода передатчика, снова переотразится от него в антенну, достигнув антенны – отразится от нее на выход передатчика, и так, пока волна не затухнет. Все эти переотражения будет фиксировать Ваш КСВ-метр, который в данном случае покажет КСВ, состоящий из суммы всех существующих в кабеле волн – прямых и отраженных.

Так как фаза отраженных волн в общем случае трудно учитываема и зависит от характера сопротивления антенны и нагрузки, КСВ-метр может показать все что угодно – и КСВ=1 при плохой антенне, и КСВ=5 при хорошей.

Если у вас есть сомнения в показаниях Вашего КСВ-метра, то подключите вместо антенны на Вашем реальном кабеле заранее известную нагрузку и измерьте ее КСВ. Если КСВ, показываемый Вашим прибором будет отличаться от расчетного – значит, Ваш трансивер не согласуется с коаксиальным кабелем.

И в заключение хочу отметить, что самый точный результат КСВ можно получить, используя мостовую схему измерения КСВ. К сожалению, подобный тип приборов нельзя употреблять для измерения проходящей мощности, что иногда очень важно.

РАЗДЕЛ 3. РАДИОПОМЕХИ В ЛЮБИТЕЛЬСКОЙ СВЯЗИ.

Сейчас обострился вопрос помехозащищенности аппаратуры. Это связано с тем, что модернизируются и, как правило, умощняются старые вещательные передатчики, открываются новые ведомственные и частные вещательные и связные радиостанции. Развивается сеть сотовой связи. К сожалению, часто эти передатчики располагаются внутри города и создают сильные помехи радиоприему.

Например, в Белгороде вещательная станция, работающая на 1600 кГц, блокирует простые приемники 160 метрового диапазона, некоторые ведомственные станции дают сильные помехи на 30, 80 и 40-метровом диапазоне. Системы служебной УКВ связи мешают работе на 144 мГц. Мощные сигналы УКВ вещания «забивают» более слабые сигналы УКВ станций других городов – Харькова и Старого Оскола. Системы УКВ связи, работающие в диапазоне частот около 50 мГц, мешают наблюдению за работой любительских станций на этом интересном диапазоне. Такая же примерно ситуация и в других городах, и это вполне естественно. В наше время обойтись без средств коммуникации невозможно, а побочным действием любого передатчика являются и помехи или блокирование приемника.

Единственный путь, который возможен в этом случае для обеспечения нормальной работы приемника – это ослабление уровня помех. Именно сильный сигнал, поступающий на вход приемника, является наиболее опасным воздействием на него. Кроме блокирования приемника этот сигнал играет роль сигнала гетеродина, может перегрузить смеситель и вывести его за пределы нормальной работы, полностью исключив тем самым прием на каком-либо участке диапазона.

1. Устранение помех в диапазонах СВ - КВ.

Наиболее простой фильтр, который ослабляет сигналы станций примерно на 3-10 дБ, больше на Нч и меньше на Вч, изображен на рис.1.

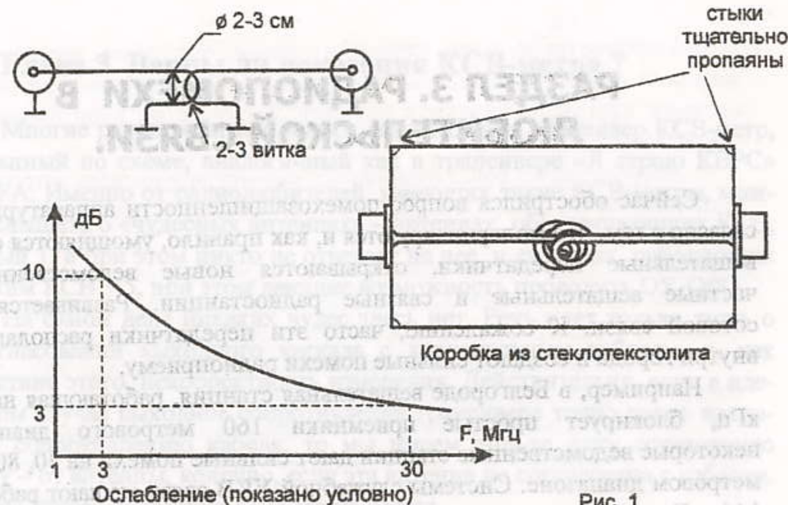


Рис. 1



Рис. 2

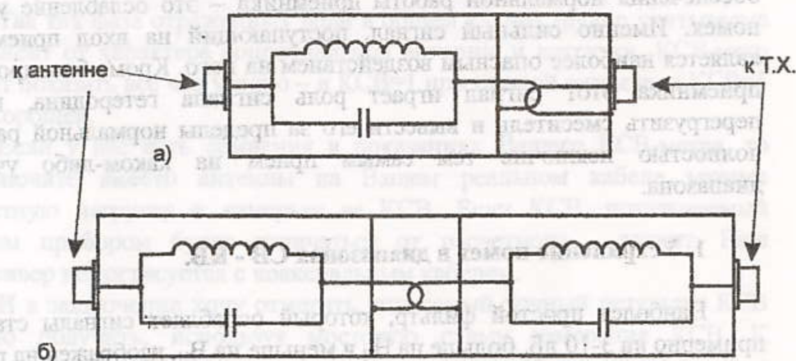


Рис. 3

Он представляет собой два-три витка связи, расположенных один внут-ри другого. С помощью такого фильтра можно значительно ослабить помехи от мощных ДВ – СВ станций и даже обеспечить нормальный прием при воздействии мощной соседней помехи.

Но в некоторых случаях, когда мешающий сигнал очень сильный, такой фильтр может не спасти от перегрузки приемника.

Тогда можно попытаться использовать простейшие режекторные фильтры, т.е. фильтры, настроенные на конкретный мешающий сигнал. Наиболее простой фильтр выглядит, как показано на рис.2.

Он представляет собой контур, настроенный на частоту мешающей станции, включенный в цепь антенны. Контур должен быть выполнен по возможности максимально добротным для того, чтобы обеспечить приемлемое подавление мешающей станции. Лучший вариант, если конденсатор контура будет воздушным.

Если обеспечить подстройку контура, то можно проводить режекцию мешающих сигналов в некотором диапазоне частот. Но практика показывает, что такой простой фильтр часто не обеспечивает удовлетворительное ослабление мешающего сигнала.

Очень хорошо работают фильтры, показанные на рис.3.

В простом фильтре, изображенном на рис.3а, используется одиночный контур, настроенный на частоту мешающей станции. Если же в месте приема действует несколько мешающих сигналов, то можно использовать фильтр, показанный на рис.3б. В этом случае один контур настроен на одну частоту, а другой на другую.

Все эти фильтры обратимы, т.е. теоретически нет разницы, куда подключать антенну, а куда приемник, но на практике может оказаться, что разница есть, хотя и небольшая.

Конструктивно эти фильтры выполнены в стеклотекстолитовых, тщательно пропаянных коробках, после настройки фильтр полезно закрыть фольгированным стеклотекстолитом и тщательно запаять.

В некоторых случаях может потребоваться использование аттенюаторов с регулируемым ослаблением. Для этого удобно использовать устройство, изображенное на рис.4. Оно представляет собой две одинаковые катушки диаметром по 15 мм, имеющие 5-10 витков и расположенные параллельно друг другу, между которыми вращается заслон из фольгированного текстолита. При перпендикулярном положении заслонки относительно витков катушек затухание минимально, при параллельном расположении – затухание максимально.

Этот аттенюатор обеспечивает начальное затухание в 3-6 дБ и конечное в 20-40 дБ в зависимости от диапазона и работает «мягче», чем обыкновенный резисторный аттенюатор.

Этот аттенюатор можно модернизировать, введя в него режекторные контуры, как в фильтре на рис.3. Полезно один из контуров настроить на частоту Пч, а другой – на частоту мощной мешающей станции. Следует отметить, что полоса режекции тщательно наполненных контуров может составлять от 10 КГц на 1,6МГц до 500КГц на 30МГц.

Но иногда мешающих станций слишком много, и рабочие частоты их заранее не определены. В этом случае для их режекции необходимо иметь много фильтров, причем желательно с возможностью регулировки их частоты. В этом случае лучшим выходом будет использование полосовых фильтров. Тщательно изготовленный диапазонный фильтр может помочь избавиться о помехи, производимой станцией, работающей в 10-20 кГц от частоты приема. Естественно, что контур, используемый в диапазонном фильтре, должен быть максимально добротным. Следует отметить, что как в режекторных, так и в диапазонных фильтрах не рекомендуется использовать катушки на ферритовых сердечниках. Использование же катушек без сердечников подразумевает то, что они должны быть выполнены из толстого провода и конденсаторы, используемые в этих контурах, должны быть с воздушным диэлектриком.

В литературе приводится много вариантов диапазонных фильтров, но все они подразумевают использование сдвоенных, строенных конденсаторов переменной емкости. Мной опробован более простой вариант фильтра, в котором используется лишь один конденсатор переменной емкости и этот фильтр имеет довольно-таки узкую полосу пропускания (рис.5).

Он представляет собой настраиваемый контур, помещенный в стеклотекстолитовую коробку. С двух концов катушки находятся по витку связи – один с антенной, другой с приемником.

Конденсатор желательно использовать с максимальной емкостью не более 100 пФ. В такой фильтр также можно включить режекторные контуры, как на рис.3.

Фильтры, показанные на рис.1-5 хорошо работают на частотах до 30 мГц. На частотах выше этих, контуры уже имеют малую индуктивность по сравнению с емкостью конденсаторов и, вследствие этого,

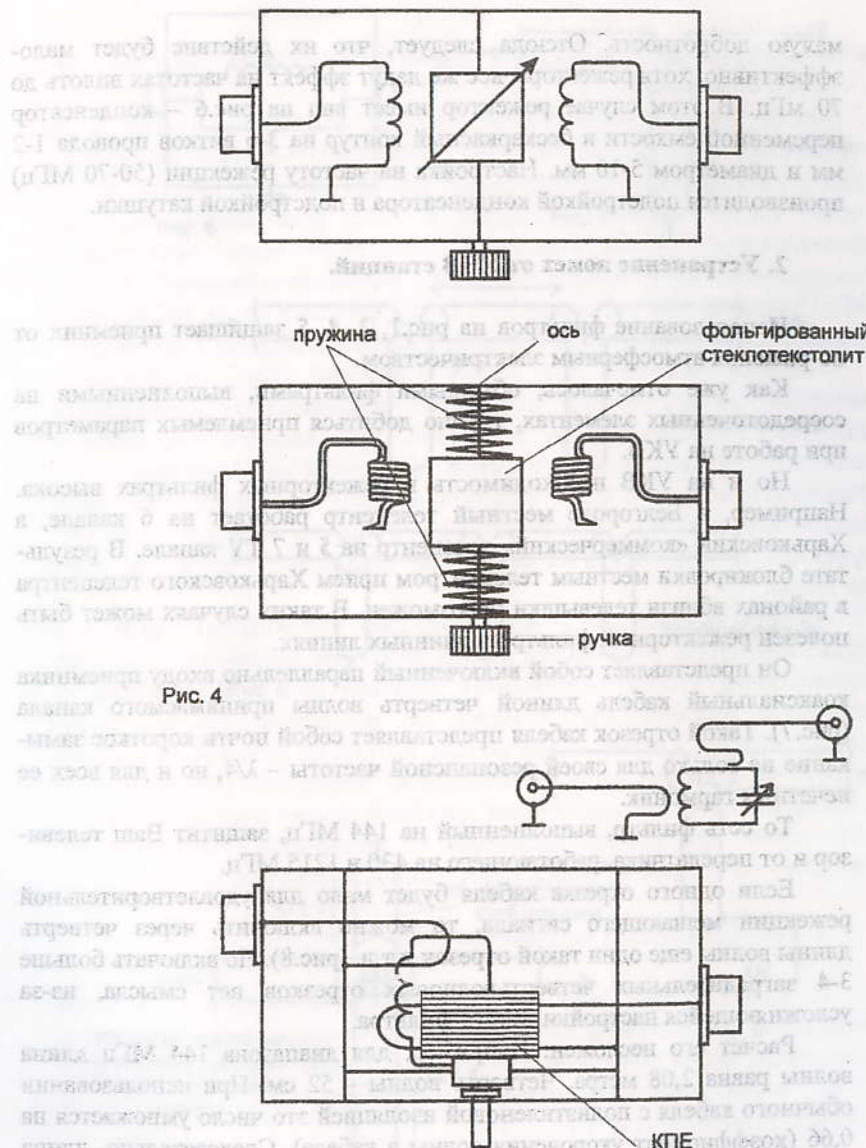


Рис. 4

Рис. 5

малую добротность. Отсюда следует, что их действие будет малоэффективно, хотя режекторы все же дадут эффект на частотах вплоть до 70 МГц. В этом случае режектор имеет вид на рис.6 – конденсатор переменной емкости и бескаркасный контур на 3-6 витков провода 1-2 мм и диаметром 5-10 мм. Настройка на частоту режекции (50-70 МГц) производится подстройкой конденсатора и подстройкой катушки.

2. Устранение помех от УКВ станций.

Использование фильтров на рис.1, 3, 4, 5 защищает приемник от по-ражения атмосферным электричеством.

Как уже отмечалось, обычными фильтрами, выполненными на сосредоточенных элементах, трудно добиться приемлемых параметров при работе на УКВ.

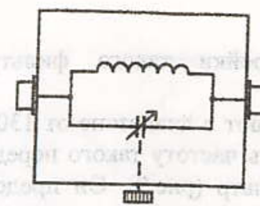
Но и на УКВ необходимость в режекторных фильтрах высока. Например, в Белгороде местный телецентр работает на 6 канале, а Харьковский «коммерческий» телецентр на 5 и 7 TV канале. В результате блокировки местным телецентром прием Харьковского телецентра в районах вблизи телевышки невозможен. В таких случаях может быть полезен режекторный фильтр на длинных линиях.

Он представляет собой включенный параллельно входу приемника коаксиальный кабель длиной четверть волны принимаемого канала (рис.7). Такой отрезок кабеля представляет собой почти короткое замыкание не только для своей резонансной частоты – λ/4, но и для всех ее нечетных гармоник.

То есть фильтр, выполненный на 144 МГц, защитит Ваш телевизор и от передатчика, работающего на 430 и 1215 МГц.

Если одного отрезка кабеля будет мало для удовлетворительной режекции мешающего сигнала, то можно включить через четверть длины волны еще один такой отрезок и т.д. (рис.8). Но включать больше 3-4 заградительных четвертьволновых отрезков нет смысла, из-за усложняющейся настройки такого фильтра.

Расчет его несложен. Например, для диапазона 144 МГц длина волны равна 2,08 метра. Четверть волны – 52 см. При использовании обычного кабеля с полиэтиленовой изоляцией это число умножается на 0,66 (коэффициент укорочения волны в кабеле). Следовательно, длина четвертьволнового отрезка кабеля для фильтра на 144 МГц равна 34,3 см. Желательно использовать отрезок кабеля с первоначальной длиной


Рис. 6

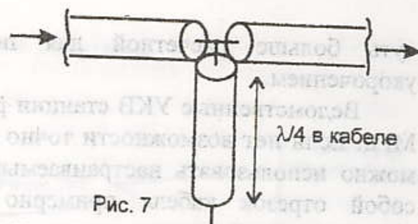


Рис. 7

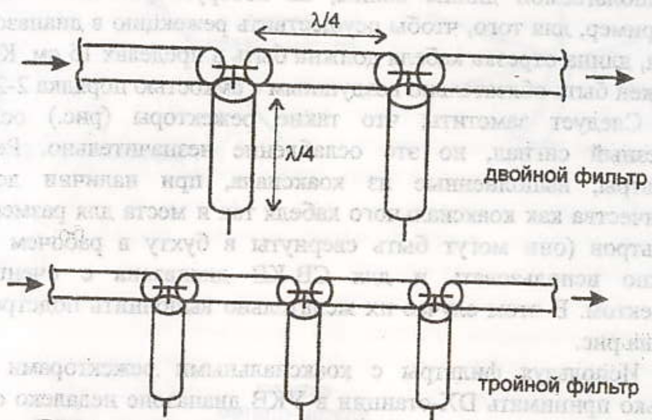


Рис. 8

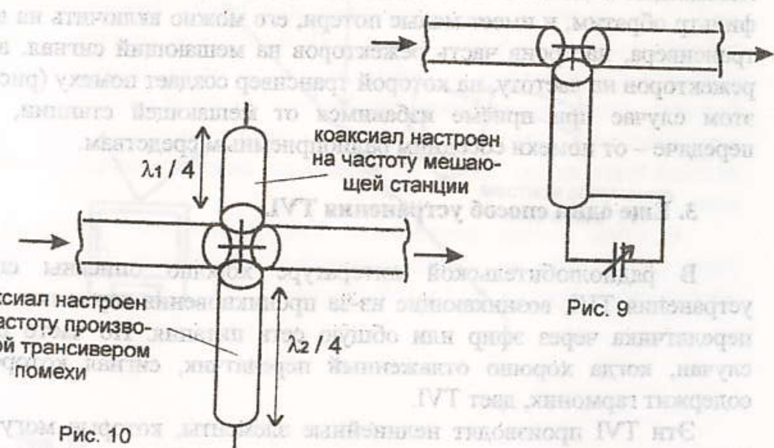


Рис. 9

Рис. 10

чуть больше расчетной для перестройки такого фильтра его укорочением.

Ведомственные УКВ станции работают в диапазоне от 130 до 178 МГц. Если нет возможности точно узнать частоту такого передатчика, можно использовать настраиваемый фильтр (рис.9). Он представляет собой отрезок кабеля примерно в 1,5-2 раза меньше четверти предполагаемой длины волны, на которую рассчитан этот фильтр. Например, для того, чтобы осуществить режекцию в диапазоне 130-178 МГц, длина отрезка кабеля должна быть в пределах 15 см. Конденсатор должен быть обязательно воздушным с емкостью порядка 2-20 пФ.

Следует заметить, что такие режекторы (рис.) ослабляют и полезный сигнал, но это ослабление незначительно. Режекторные фильтры, выполненные из коаксиала, при наличии достаточного количества как коаксиального кабеля так и места для размещения этих фильтров (они могут быть свернуты в бухту в рабочем состоянии) можно использовать и для СВ-КВ диапазона с очень хорошим эффектом. В этом случае их желательно выполнить подстраиваемыми, как на рис.

Используя фильтры с коаксиальными режекторами можно не только принимать DX-станции в УКВ диапазоне недалеко от местного ретранслятора УКВ и «освободить» телевизор или УКВ приемник от мешающих ведомственных станций. Но, вследствие того, что такой фильтр обратим, и имеет малые потери, его можно включить на выходе трансивера, настроив часть режекторов на мешающий сигнал, а часть режекторов на частоту, на которой трансивер создает помеху (рис.10). В этом случае при приеме избавимся от мешающей станции, а при передаче – от помехи соседним радиоприемным средствам.

3. Еще один способ устранения TVI.

В радиолюбительской литературе хорошо описаны способы устранения TVI, возникающие из-за проникновения гармоник сигнала передатчика через эфир или общую сеть питания. Но часто бывают случаи, когда хорошо отлаженный передатчик, сигнал которого не содержит гармоник, дает TVI.

Эти TVI производят нелинейные элементы, которые могут быть образованы в месте контакта металл-металл, в месте окисления металла. TVI, возникающие за счет этих предметов, объясняются тем, что ВЧ

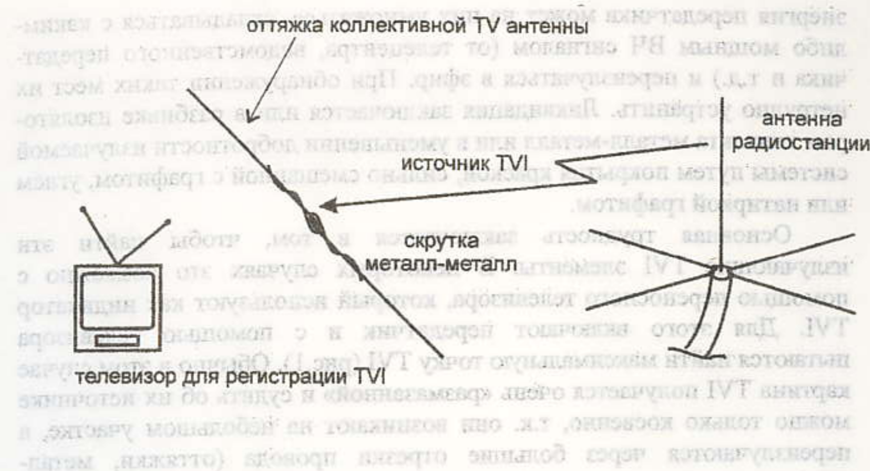


Рис. 11

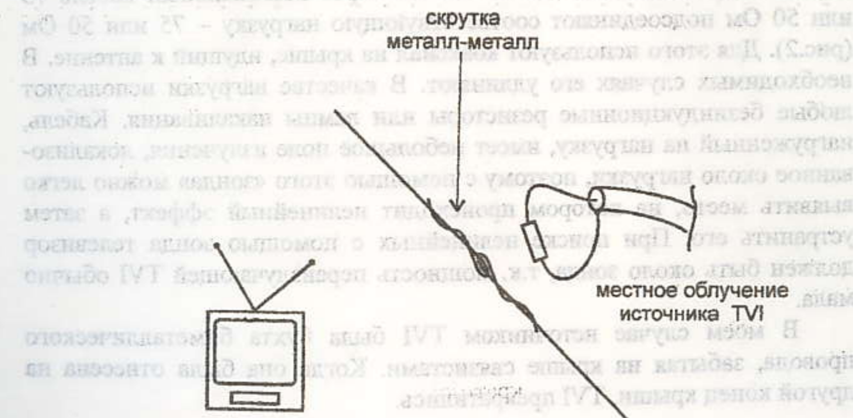


Рис. 12

энергия передатчика может на них умножаться, складываться с каким-либо мощным ВЧ сигналом (от телецентра, ведомственного передатчика и т.д.) и переизлучаться в эфир. При обнаружении таких мест их нетрудно устранить. Ликвидация заключается или в разбивке изолятором контакта металл-металл или в уменьшении добротности излучаемой системы путем покрытия краской, сильно смешанной с графитом, углем или натиркой графитом.

Основная трудность заключается в том, чтобы найти эти излучающие TVI элементы. В некоторых случаях это возможно с помощью переносного телевизора, который используют как индикатор TVI. Для этого включают передатчик и с помощью телевизора пытаются найти максимальную точку TVI (рис.1). Обычно в этом случае картина TVI получается очень «размазанной» и судить об их источнике можно только косвенно, т.к. они возникают на небольшом участке, а переизлучаются через большие отрезки провода (оттяжки, металлическое ограждение крыши).

Для локализации источника помех используют местное облучение «подозрительного» участка ВЧ энергией передатчика. Для этого к передатчику мощностью до 40-100 Вт через коаксиальный кабель 75 или 50 Ом подсоединяют соответствующую нагрузку – 75 или 50 Ом (рис.2). Для этого используют коаксиал на крыше, идущий к антенне. В необходимых случаях его удлиняют. В качестве нагрузки используют любые безиндукционные резисторы или лампы накаливания. Кабель, нагруженный на нагрузку, имеет небольшое поле излучения, локализованное около нагрузки, поэтому с помощью этого «зонда» можно легко выявить место, на котором происходит нелинейный эффект, а затем устранить его. При поиске нелинейных с помощью зонда телевизор должен быть около зонда, т.к. мощность переизлучающей TVI обычно мала.

В моем случае источником TVI была бухта биметаллического провода, забытая на крыше связистами. Когда она была отнесена на другой конец крыши, TVI прекратились.